

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**Grado en Ingeniería en Tecnologías y Servicios de  
Telecomunicación**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**SERVICIO BASADO EN TECNOLOGÍA LTE-eMBMS PARA  
DISTRIBUCIÓN DE SEÑALES DE TV DENTRO DE UN  
ESTADIO DE FÚTBOL**

**Juan Quintana Cosín**  
**Tutor: Ángel Blázquez Martín**  
**Ponente: Javier Aracil Rico**

**JUNIO 2018**



# **SERVICIO BASADO EN TECNOLOGÍA LTE-eMBMS PARA DISTRIBUCIÓN DE SEÑALES DE TV DENTRO DE UN ESTADIO DE FÚTBOL**

**AUTOR: Juan Quintana Cosín**  
**TUTOR: Ángel Blázquez Martín**

**Dpto. Tecnología Electrónica y de las Comunicaciones**  
**Escuela Politécnica Superior**  
**Universidad Autónoma de Madrid**  
**junio de 2018**



# Resumen

Históricamente las empresas Operadoras de redes de telecomunicación han sido intensivas en capital. Las altísimas inversiones que han realizado a lo largo del tiempo han servido para desplegar servicios que, explotados por ellas mismas, proporcionaban un crecimiento de los ingresos acorde con el esfuerzo inversor realizado.

Con la aparición de Internet y de la digitalización de la economía, surgieron compañías cuyo modelo de negocio estaba soportado por las inversiones de los Operadores de redes de telecomunicación, de tal forma que se produjo un cambio de paradigma: no necesariamente quien había realizado la inversión iba a ser quien explotara los servicios de valor añadido y quien capturase todos los ingresos derivados de ella.

Google, Amazon, Facebook no invierten en redes de telecomunicación, salvo apuestas marginales enfocadas a la innovación y a su propia imagen, pero necesitan que los Operadores hagan llegar el acceso a la Red cada vez a más población, incrementen el ancho de banda, disminuyan la latencia, aseguren la disponibilidad, ... en definitiva, que entren en espirales de inversión creciente para sustentar su crecimiento exponencial de ingresos.

Sin embargo, los Operadores difícilmente han conseguido acceder a un trozo del pastel que justifique las inversiones realizadas. Aunque el número de personas que se conecta a la Red crece hasta alcanzar casi el 100% de la población, la fuerte competencia y una regulación estricta, que no afecta a los nuevos actores digitales pero que impone la neutralidad de la Red frente a ellos, impiden que el crecimiento de ingresos obtenidos de las redes de telecomunicaciones crezca al mismo ritmo que lo hacen los de las empresas cuyo negocio se soporta en ellas.

En este entorno de mercado, donde invertir es imprescindible para el mantenimiento del negocio, pero donde el retorno de la inversión es, cuando menos, dudoso, los Operadores están desplegando una amplia panoplia de iniciativas con el objetivo de identificar nuevos servicios de telecomunicación que, con un diferencial de inversiones reducido, aprovechen los despliegues de red ya realizados para generar nuevas oportunidades de negocio y, consecuentemente, incrementen el flujo de ingresos.

Este Trabajo Fin de Grado, forma parte de ese conjunto de iniciativas. En el mismo se realizará una propuesta de arquitectura de red para soportar nuevos servicios de distribución de televisión sobre terminales móviles, apoyándose en las posibilidades que ofrece la tecnología LTE-eMBMS (*Long Term Evolution – Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service*).

La disponibilidad reciente de esta tecnología sobre redes comerciales de LTE permite la generación de ingresos adicionales con una oferta de servicios de TV en ámbitos geográficos restringidos que requieran de contenidos específicos. Un caso singular de estos entornos son los estadios de fútbol, dónde, a lo largo de los partidos, puede ofrecerse a los espectadores una experiencia multimedia diferente y tanto más rica que la que pueden disfrutar en su propia casa, integrada con el disfrute en vivo de los eventos.

El objetivo de este Trabajo es la identificación de los requerimientos de red, la planificación radio y la evolución de la arquitectura de la red LTE con funcionalidad eMBMS, para soportar la oferta de varios canales de TV en un estadio de fútbol.

# Abstract

Historically, telecommunication network Operators have been capital intensive. The very high investments they have made over time have served to deploy services that, exploited by themselves, provided income growth in line with the investment effort made.

With the emergence of the Internet and the digitalization of the economy, companies emerged whose business model was supported by the investments of telecommunications network operators, so that there was a paradigm shift: not necessarily who had made the investment It was going to be the one who exploited the value-added services and who would capture all the income derived from it.

Google, Amazon, Facebook do not invest in telecommunication networks, except for marginal bets focused on innovation and their own image, but they need that Operators make access to the Internet reach more and more people, increase bandwidth, decrease the latency, ensure availability, ... in short, that they enter into spirals of increasing investment to sustain their exponential growth of income.

However, the Operators have hardly managed to access a piece of pie that justifies the investments made. Although the number of people who connect to the Network grows to reach almost 100% of the population, the strong competition and strict regulation, which does not affect the new digital players but imposes the neutrality of the Network in front of them, they prevent the growth of income obtained from the telecommunications networks from growing at the same pace as those of the companies whose business is supported by them.

In this market environment, where investing is essential for the maintenance of the business, but where the return on investment is, at least, doubtful, the Operators are deploying a wide panoply of initiatives with the objective of identifying new telecommunication services that, with a reduced investment differential, take advantage of the network deployments already made to generate new business opportunities and, consequently, increase the revenue stream.

This Bachelor Thesis is part of this set of initiatives. A network architecture proposal will be made to support new television distribution services on mobile terminals, based on the possibilities offered by LTE-eMBMS technology (Long Term Evolution - Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service).

The recent availability of this technology over commercial networks of LTE allows the generation of additional revenues with a TV services offer in restricted geographic areas that require specific contents. A unique case of these environments are the football stadiums, where, throughout the matches, the spectators can be offered a different multimedia experience and so much richer than what they can enjoy in their own home, integrated with the live enjoyment of events.

The objective of this Thesis is the identification of the network requirements, the radio planning and the evolution of the LTE network architecture with eMBMS functionality, to support the offer of several TV channels in a football stadium.

## **Palabras clave**

LTE, eMBMS, redes de telecomunicaciones, servicios de distribución de televisión, multimedia

## **Keywords**

LTE, eMBMS, telecommunications networks, television distribution services, multimedia





## ***Agradecimientos***

No tendría espacio suficiente para dar las gracias a todos aquellos que me han prestado apoyo a lo largo de los cuatro años del Grado, en los buenos y en los malos momentos, que de todo ha habido. Gracias a todos.

Quiero, especialmente, hacer mención a quienes me habéis soportado en este Trabajo de Fin de Grado, el último empujón para acabar. Joaquín Mata, que me dio la oportunidad de abordar un proyecto con visibilidad de la operación y las redes. Ángel Blázquez, mi tutor, que me dirigió y orientó sabiamente para conseguir que el trabajo fuese un éxito. Y a Javier Aracil, a quien “asalté” para que fuese ponente. Muchas Gracias a los tres.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1 Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Organización de la memoria.....	4
<b>2 Estado del arte .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tecnología LTE.....	5
2.1.1 Estandarización, 3GPP .....	5
2.1.2 Arquitectura .....	7
2.1.3 Red de acceso radio, E-UTRAN.....	9
2.1.4 Red <i>core</i> , EPC .....	13
2.2 eMBMS .....	15
2.3 Implantación de las tecnologías en la Red del Operador .....	18
<b>3 Características del servicio .....</b>	<b>19</b>
<b>4 Selección del estadio de fútbol .....</b>	<b>21</b>
4.1 Tecnologías y frecuencias soportadas .....	21
4.2 Descripción de la solución para la cobertura móvil .....	21
4.2.1 Arquitectura DAS ( <i>Distributed Antennas System</i> ) .....	22
4.2.2 Cobertura del estadio.....	23
4.2.3 Características radio del despliegue .....	25
<b>5 Diseño de la solución .....</b>	<b>27</b>
5.1 La Red actual. Fabricantes e interoperabilidad .....	27
5.2 Arquitectura de la solución.....	29
5.2.1 MCE ( <i>Multicell/multicast Coordination Entity</i> ).....	29
5.2.2 Selección de alternativas para el resto de los elementos eMBMS .....	30
5.3 Bandas de frecuencias usadas en el servicio .....	33
5.4 Dimensionado de la interfaz radio.....	35
5.4.1 Cálculo de la SNR .....	36
5.4.2 Cálculo del MCS .....	38
5.4.3 3.    Determinación del FEC .....	39
5.4.4 4.    Cálculo de <i>overheads</i> .....	43
5.4.5 5.    Cálculo del ancho de banda necesario (nº de subtramas).....	44
5.5 Otros elementos del servicio .....	45
5.5.1 Equipos de cliente.....	45
5.5.2 Aplicaciones para los terminales móviles .....	46
<b>6 Conclusiones y trabajo futuro .....</b>	<b>47</b>
6.1 Conclusiones.....	47
6.2 Trabajo futuro .....	47
<b>Referencias .....</b>	<b>51</b>
<b>Glosario .....</b>	<b>53</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>I</b>
A    Dispositivos compatibles eMBMS .....	I
B    Parámetros de la interfaz radio (codificación H.265).....	VII
C    Parámetros de la interfaz radio (codificación H.264).....	IX

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: HITOS DE LA CONMUTACIÓN FIJA Y LAS COMUNICACIONES MÓVILES EN ESPAÑA .....	1
FIGURA 1-2: EVOLUCIÓN DE LOS INGRESOS DE GOOGLE Y FACEBOOK.....	2
FIGURA 1-3: EVOLUCIÓN DE LOS INGRESOS Y LA INVERSIÓN DE MOVISTAR .....	3
FIGURA 2-1: GRUPOS DE TRABAJO DE 3GPP .....	6
FIGURA 2-2: ARQUITECTURA EPS.....	7
FIGURA 2-3: ENTIDADES LÓGICAS DE LA ARQUITECTURA EPS .....	8
FIGURA 2-4: DISTRIBUCIÓN FUNCIONAL ENTRE E-UTRAN Y EPC .....	9
FIGURA 2-5: ARQUITECTURA E-UTRAN.....	10
FIGURA 2-6: ESTRUCTURA DE LA TRAMA FDD Y REJILLA DE RECURSOS .....	11
FIGURA 2-7: EFECTO DE LA ORTOGONALIDAD DE SUBPORTADORAS EN OFDMA .....	11
FIGURA 2-8: COMPARATIVA ENTRE OFDMA Y SC-FDMA .....	12
FIGURA 2-9: CANALES DE COMUNICACIÓN LTE.....	13
FIGURA 2-10: ARQUITECTURA EPC .....	13
FIGURA 2-11: COMPARACIÓN ENTRE <i>BROADCAST</i> Y <i>UNICAST</i> EN UNA RED MÓVIL .....	15
FIGURA 2-12: TRANSMISIÓN SINCRONIZADA EN UN ÁREA MBSFN. GANANCIA POR MACRODIVERSIDAD EN EL BORDE DE CÉLULAS ADYACENTES .....	16
FIGURA 2-13: ARQUITECTURA EMBMS .....	16
FIGURA 2-14: CANALES EMBMS.....	17
FIGURA 2-15: SUBTRAMAS EMBMS EN LA TRAMA LTE-FDD.....	18
FIGURA 3-1: VISUALIZACIÓN EN MOSAICO DE MOVISTAR+ .....	20
FIGURA 4-1: ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDAS (DAS).....	21
FIGURA 4-2: CONEXIONES A LA UNIDAD MAESTRA CON Y SIN ETAPA DE ATENUACIÓN.....	22
FIGURA 4-3: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE ANTENAS A LAS UNIDADES REMOTAS.....	23
FIGURA 4-4: COBERTURA: SECTORIZACIÓN DEL ESTADIO .....	23
FIGURA 4-5: UBICACIÓN DE ANTENAS PARA COBERTURA DE GRADAS, CAMPO Y EXTERIORES.....	24

FIGURA 4-6: UBICACIÓN DE LAS ANTENAS EN LA CUBIERTA .....	25
FIGURA 5-1: FABRICANTES EN LA RED MÓVIL DEL OPERADOR .....	28
FIGURA 5-2: EMBMS CON ARQUITECTURA MCE DISTRIBUIDA .....	29
FIGURA 5-3: ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN: ALTERNATIVA 1; EMBMS Y MME ERICSSON .....	30
FIGURA 5-4: ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN: ALTERNATIVA 2; EMBMS ERICSSON .....	31
FIGURA 5-5: ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN: ALTERNATIVA 3; EMBMS HUAWEI .....	32
FIGURA 5-6: RELACIÓN ENTRE EL ANCHO DE BANDA DEL CANAL ( $BW_{\text{CHANNEL}}$ ) Y LA CONFIGURACIÓN DEL ANCHO DE BANDA DE TRANSMISIÓN ( $N_{\text{RB}}$ ).....	34
FIGURA 5-7: IMPACTO DEL RETARDO DE PROPAGACIÓN POR TRAYECTOS MÚLTIPLES EN EL ISI ....	36
FIGURA 5-8: SNR vs. RSRP .....	37
FIGURA 5-9: ALINEAMIENTO DE PROTOCOLOS EMBMS.....	40
FIGURA 5-10: TORRE DE PROTOCOLOS DE EMBMS.....	43

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 5-1: USO DEL ESPECTRO LICENCIADO .....	34
TABLA 5-2: CONFIGURACIÓN DEL ANCHO DE BANDA DE TRANSMISIÓN ( $N_{RB}$ ) PARA DIFERENTES ANCHOS DE BANDA DE CANAL ( $BW_{CHANNEL}$ ) .....	34
TABLA 5-3: MODULACIÓN Y TASA DE CODIFICACIÓN ASOCIADAS A CADA MCS.....	35
TABLA 5-4: : SINR vs. RSRP EN DISTINTAS CONDICIONES DE RADIOFRECUENCIA .....	38
TABLA 5-5: SNR vs. MCS CON $P_{BLER} = 2\%$ .....	39
TABLA 5-6: <i>BITRATE</i> REQUERIDO POR EL SERVICIO (CODIFICACIÓN H.265) .....	41
TABLA 5-7: COEFICIENTES DE DEPENDENCIA DE FEC $N$ RESPECTO DE $K$ , PARA CODIFICACIÓN RAPTOR 10.....	43

# 1 Introducción

---

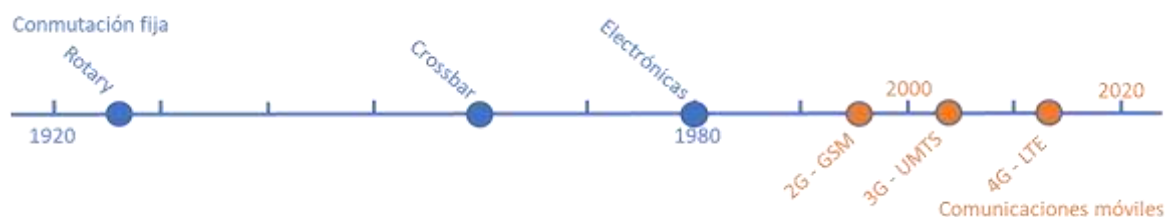
## 1.1 Motivación

Históricamente las empresas Operadoras de redes de telecomunicación han sido intensivas en capital. Las altísimas inversiones que han realizado a lo largo del tiempo han servido para desplegar servicios que, explotados por ellas mismas, proporcionaban un crecimiento de los ingresos acorde con el esfuerzo inversor realizado.

Los ciclos de inversión venían siendo parejos con la aparición de nuevas tecnologías, que, a su vez, eran el fundamento de nuevos servicios y de un conjunto de nuevos negocios, cuya rentabilidad justificaba el esfuerzo inversor realizado.

En las últimas décadas el ritmo de aparición de nuevas tecnologías ha sufrido una aceleración significativa, lo que ha supuesto una reducción progresiva de los periodos necesarios para obtener retorno de lo invertido.

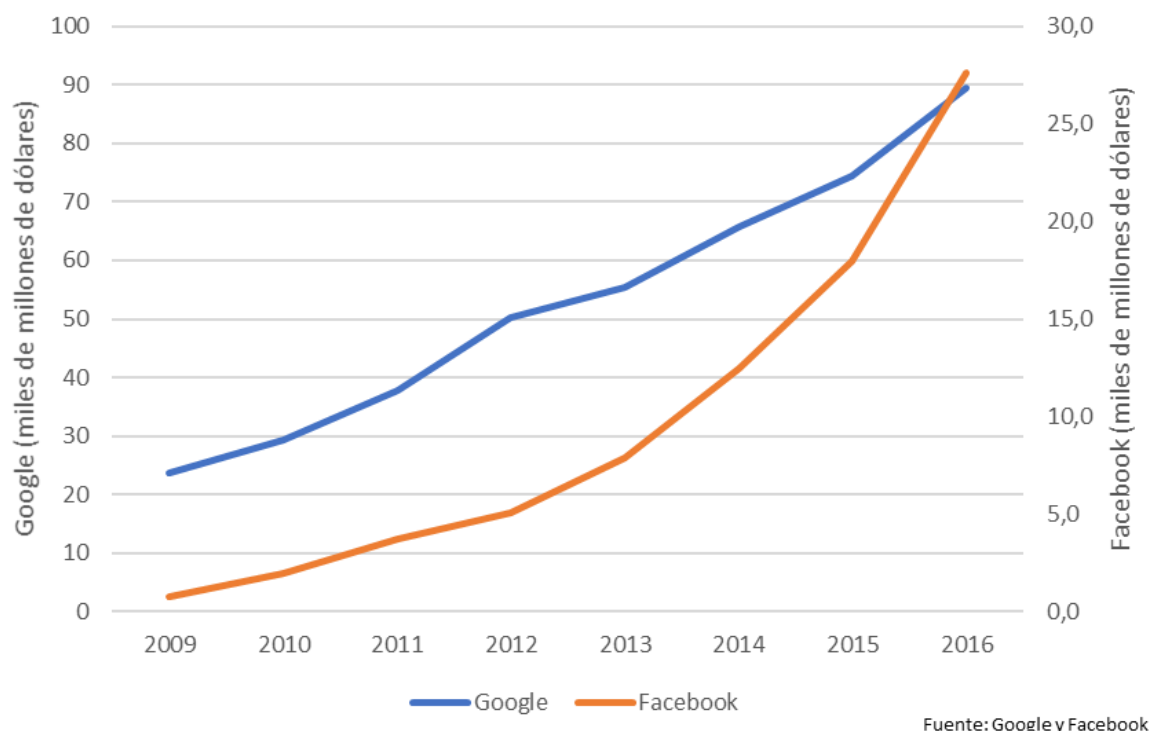
Así, mientras que la evolución de las centrales de conmutación, desde las primeras implantaciones hasta su digitalización, llevó más de 50 años y, aún en la actualidad, siguen en pleno funcionamiento, las comunicaciones móviles han evolucionado del 2G al 4G en menos de 20 (Figura 1-1) y las modernas redes IP públicas se están renovando totalmente cada 5 años.



**Figura 1-1: Hitos de la conmutación fija y las comunicaciones móviles en España**

Con la aparición de Internet y de la digitalización de la economía, surgieron compañías cuyo modelo de negocio estaba soportado por las inversiones de los Operadores de redes de telecomunicación, de tal forma que se produjo un cambio de paradigma: no necesariamente quien había realizado la inversión iba a ser quien explotara los servicios de valor añadido y quien capturase todos los ingresos derivados de ella.

Google, Amazon, Facebook no invierten en redes de telecomunicación, salvo apuestas marginales enfocadas a la innovación y a su propia imagen, pero necesitan que los Operadores hagan llegar el acceso a la Red cada vez a más población, incrementen el ancho de banda, disminuyan la latencia, aseguren la disponibilidad, ... en definitiva, que entren en espirales de inversión creciente para sustentar su crecimiento exponencial de ingresos. Apoyándose en las comunicaciones provistas por redes que no son de su propiedad, las nuevas tecnológicas capturan todo el valor (Figura 1-2).



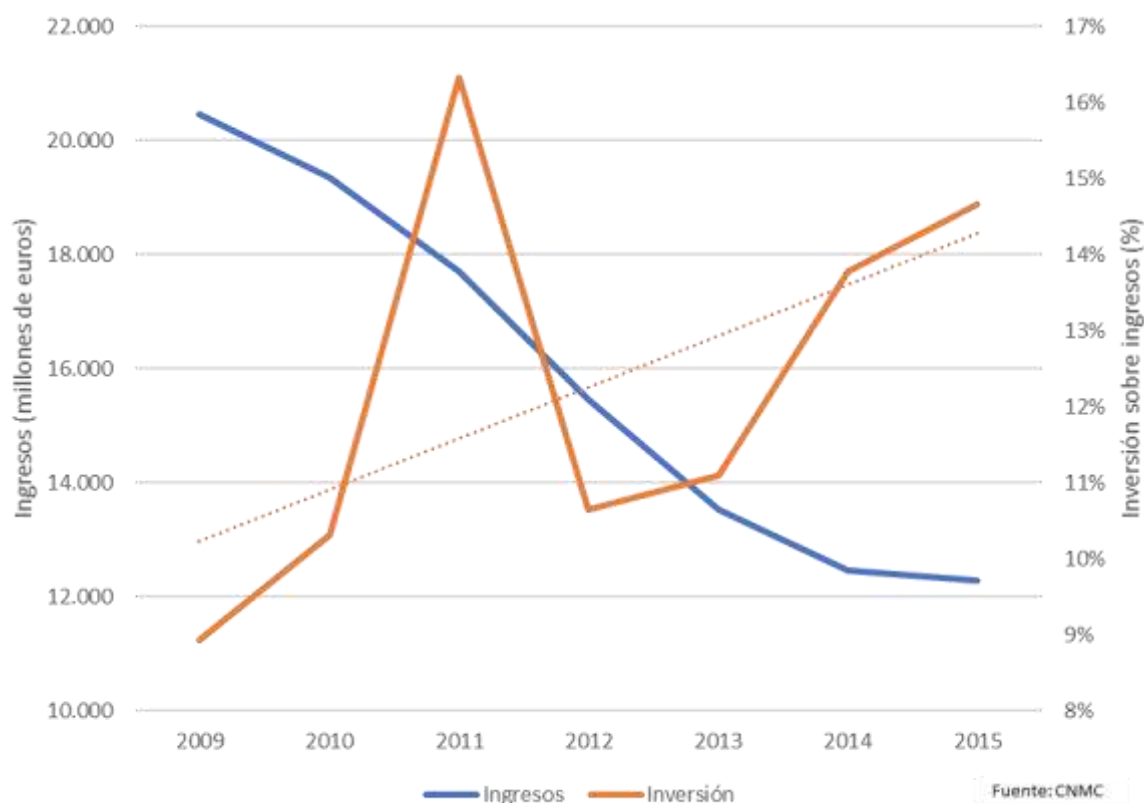
**Figura 1-2: Evolución de los ingresos de Google y Facebook**

Sin embargo, los Operadores difícilmente han conseguido acceder a un trozo del pastel que justifique las inversiones realizadas. Aunque el número de personas que se conecta a la Red crece hasta alcanzar casi el 100% de la población, la fuerte competencia y una regulación estricta, que no afecta a los nuevos actores digitales pero que impone la neutralidad de la Red frente a ellos, impiden que el crecimiento de ingresos obtenidos de las redes de telecomunicaciones crezca al mismo ritmo que lo hacen los de las empresas cuyo negocio se soporta en ellas.

Como podemos ver en la Figura 1-3, la evolución de los ingresos y el esfuerzo inversor del mayor Operador de nuestro mercado tiene tendencias diametralmente opuestas. Mientras que el porcentaje de los ingresos que se destina a inversiones, principalmente en la Red, crece año tras año, los ingresos sufren una fuerte caída.

Este desequilibrio en cuanto a la generación de ingresos entre quienes despliegan las redes de telecomunicación y quienes hacen uso de ellas para comercializar los nuevos servicios digitales que están siendo el motor de transformación de nuestra sociedad, puede llegar a provocar una falta de incentivos empresariales que, como efecto dominó, lleve a una crisis importante en la implantación de los nuevos avances tecnológicos. Pese al empuje de las administraciones públicas, los Operadores ya comenzaron a “arrastrar los pies” en los albores del despliegue del LTE y hoy, cuando este despliegue se ha finalizado (o casi) muy recientemente, es manifiesta la falta de incentivos para abordar decididamente a corto plazo otra renovación de la Red para soportar la tecnología 5G.





**Figura 1-3: Evolución de los ingresos y la inversión de Movistar**

En este entorno de mercado, donde invertir es imprescindible para el mantenimiento del negocio, pero donde el retorno de la inversión es, cuando menos, dudoso, los Operadores están desplegando una amplia panoplia de iniciativas con el objetivo de identificar nuevos servicios de telecomunicación que, con un diferencial de inversiones reducido, aprovechen los despliegues de red ya realizados para generar nuevas oportunidades de negocio y, consecuentemente, incrementen el flujo de ingresos. Este Trabajo Fin de Grado forma parte de ese conjunto de iniciativas.

La disponibilidad reciente de la tecnología LTE-eMBMS (*Long Term Evolution – Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service*) sobre redes comerciales permite la generación de ingresos adicionales con una oferta de servicios de TV en ámbitos geográficos restringidos que requieran de contenidos específicos.

## 1.2 Objetivos

De acuerdo con lo expuesto en el apartado anterior, en este Trabajo Fin de Grado se realizará una propuesta de arquitectura de red para soportar nuevos servicios de distribución de televisión sobre terminales móviles, apoyándose en las posibilidades que ofrece la tecnología LTE-eMBMS, y su posible aplicación en un servicio concreto enfocado a estadios de fútbol, caso singular de entornos geográficos restringidos donde es posible la oferta de contenidos específicos, diferenciados de la oferta generalista.

Para mayor concreción del Trabajo, se seleccionará un estadio que, por sus especiales condiciones de cobertura, facilite una primera implantación. Asimismo, se definirá una propuesta de servicio de distribución de TV, como mera exposición de las posibilidades de

la tecnología y de la arquitectura de red propuestas<sup>1</sup>, demostrativo de cómo puede ofrecerse a los espectadores a lo largo de los partidos una experiencia multimedia, integrada con el disfrute en vivo de los eventos, diferente y tanto o más rica que la que pueden disfrutar en su propia casa

El objetivo de este Trabajo es la identificación de los requerimientos de red, la planificación radio y la evolución de la arquitectura de la red LTE con funcionalidad eMBMS, para soportar el servicio de distribución de TV definido para un estadio de fútbol.

El tiempo y los recursos necesarios, fuera del alcance de un Trabajo académico, hacen inviable la implantación de la arquitectura definida y el servicio propuesto dentro del marco del proyecto. El objetivo final del diseño y desarrollo descritos en esta memoria es poner a disposición del Operador, en los ámbitos que correspondan, los argumentos técnicos necesarios para, junto a otras informaciones de índole comercial y económico, llevar a cabo una toma de decisión adecuada acerca del despliegue del servicio. Razonablemente, la toma de decisión de la implantación corresponde al Operador, que será quien finalmente comprometa los recursos, de red, humanos y económicos, para hacer realidad lo que, en entorno de laboratorio, ha demostrado su funcionamiento considerando los diseños que forman parte de este Trabajo.

### **1.3 Organización de la memoria**

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- Este primer capítulo recoge cuál es la motivación y objetivos del Trabajo Fin de Grado.
- En el capítulo 2 se mostrarán las tecnologías que se van a utilizar para soportar el nuevo servicio, LTE y eMBMS, cuál es su estado del arte y qué nivel de implantación tienen en la Red del Operador.
- En el capítulo 3 se describirá el servicio a implantar, el cual marcará los requerimientos de diseño para el resto de los capítulos.
- En el capítulo 4 se realizará la selección del estadio de fútbol donde hacer el (primer) despliegue del servicio, con hincapié especial en la red LTE que le da servicio y las características de su cobertura.
- El capítulo 5 abordará el diseño de la solución a desplegar en la Red para soportar el servicio, su arquitectura, la planificación de los recursos de la radio y los resultados esperados en cuanto a la capacidad de servicio ofertada, y la concurrencia de otros elementos ajenos a la propia Red, necesarios para la puesta en operación.
- Finalmente, el capítulo 6 mostrará las conclusiones del Trabajo y una propuesta de próximos puntos de acción.

---

<sup>1</sup> El desarrollo del servicio no es objetivo de este Trabajo de Fin de Grado. Solamente se describe una propuesta de aquel con el objetivo de que sirva para el análisis de las posibilidades de la Red y de los requerimientos que plantea, al tiempo que como ejemplo comercial destinado a contribuir a la aprobación final de un potencial despliegue.

## 2 Estado del arte

---

### 2.1 Tecnología LTE

LTE (*Long Term Evolution*) es un sistema de comunicaciones móviles estandarizado por 3GPP (*Third Generation Partnership Project*), un grupo de trabajo multidisciplinar formado por la industria y los Operadores de telecomunicación, nacido para evolucionar el primitivo GSM (*Global System for Mobile communications*) hacia la tercera generación (3G), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), empujados por la necesidad de incrementar las capacidades de comunicaciones de datos en las redes móviles.

Se caracteriza por ser una tecnología IP extremo a extremo, exclusivamente basada en conmutación de paquetes, que abandona definitivamente la conmutación de circuitos en que se basaban buena parte de las tecnologías fijas y móviles anteriores. Hace un uso extendido, flexible y escalable del espectro, utilizando bandas de frecuencia ya habituales para GSM y UMTS y otras nuevas (2600 MHz, por ejemplo). Ofrece altas velocidades de pico (>300 Mbps de bajada y >80 Mbps de subida), baja latencia (<10 ms) y mejoras importantes en la QoS (*Quality of Service*) respecto de las tecnologías previas.

#### 2.1.1 Estandarización, 3GPP

3GPP es una entidad colaborativa formada por siete socios organizadores, que son organizaciones de estandarización de diferentes regiones del mundo: ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*, Europa), ATIS (*Alliance for Telecommunications Industry Solutions*, EE. UU.), TTC (*Telecommunication Technology Committee*, Japón), ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*, Japón), TTA (*Telecommunications Technology Association*, Corea), CCSA (*China Communications Standards Association*, China) y TSDSI (*Telecommunications Standards Development Society*, India) [15].

Además de las citadas, en el 3GPP pueden participar otras organizaciones desarrolladoras de estándares, socios representantes del mercado (fabricantes, Operadores), miembros individuales que pertenezcan a los socios organizadores, observadores que tengan potencial de ser socios en el futuro e invitados.

3GPP está formado por 4 grupos de especificaciones técnicas (TSG, *Technical Specifications Group*): RAN (*Radio Access Network*), SA (*Service & System Aspects*), CT (*Core Network and Terminals*) y GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*), que a su vez se estructuran en grupos de trabajo (*Work Groups*, WG). En la Figura 2-1 se recoge el foco de cada uno de ellos.

A excepción de los pertenecientes al TSG GERAN, todos los demás WG generan especificaciones que afectan a LTE.

La forma de trabajo de 3GPP consiste en mantener un conjunto de *Releases* en paralelo que permitan disponer de cuerpos de especificaciones cerrados (*frozen*) y estables, al tiempo que se pueda seguir trabajando en la incorporación de nuevas funcionalidades con un objetivo temporal de disponibilidad.

<b>TSG GERAN</b> GSM EDGE Radio Access Network	<b>TSG RAN</b> Radio Access Network	<b>TSG SA</b> Service & Systems Aspects	<b>TSG CT</b> Core Network & Terminals
<b>GERAN WG1</b> Radio Aspects	<b>RAN WG1</b> Radio Layer 1 spec	<b>SA WG1</b> Services	<b>CT WG1</b> MM/CC/SM (Iu)
<b>GERAN WG2</b> Protocol Aspects	<b>RAN WG2</b> Radio Layer 2 spec Radio Layer 3 RR spec	<b>SA WG2</b> Architecture	<b>CT WG3</b> Interworking with external networks
<b>GERAN WG3</b> Terminal Testing	<b>RAN WG3</b> Iub spec, Iur spec, Iu spec UTRAN O&M requirements	<b>SA WG3</b> Security	<b>CT WG4</b> MAP/GTP/BCH/SS
	<b>RAN WG4</b> Radio Performance Protocol aspects	<b>SA WG4</b> Codec	<b>CT WG6</b> Smart Card Application Aspects
	<b>RAN WG5</b> Mobile Terminal Conformance Testing	<b>SA WG5</b> Telecom Management	
	<b>RAN WG6</b> Legacy RAN radio and protocol	<b>SA WG6</b> Mission-critical applications	

**Figura 2-1: Grupos de Trabajo de 3GPP**

La especificación de LTE [16][17] se abordó por primera vez en el año 2004 con los siguientes requisitos:

- Incrementar la eficiencia espectral
- Reducir el coste por bit
- Mejorar la provisión de servicios reduciendo el coste, aumentando la eficiencia y mejorando la experiencia de los usuarios
- Disponer de una arquitectura simplificada y con interfaces abiertas
- Mejorar la eficiencia en el consumo de energía de los terminales
- Hacer un uso escalable y flexible de las bandas de frecuencias

Se concretarían en un conjunto de objetivos iniciales, que en el caso del acceso radio fueron:

- Velocidad de bajada (DL) mayor que 100 Mbps
- Velocidad de subida (UL) mayor que 50 Mbps
- Mejora de la eficiencia espectral respecto de la *Release 6* (HSPA) entre x2 y x4
- Latencia inferior a 10 ms
- Ancho de banda escalable
- Interoperabilidad con los sistemas especificados en la *Releases* anteriores (2G y 3G) e, incluso, con otras redes de tecnologías no especificadas por 3GPP

El trabajo de especificación se recogió en la *Release 8*, que fue congelada en marzo de 2009.

La *Release 9* incorporó mejoras y nuevas funcionalidades al estándar LTE: MIMO, MBMS, nodos de baja potencia, SON, etc.

En 2008 (formalmente en enero de 2009) se comenzaron los trabajos sobre la *Release 10*. Uno de sus objetivos fue abordar lo que se denominó *LTE-Advanced*, que perseguía la alineación de LTE con las recomendaciones *IMT-Advanced* de ITU para la interfaz radio, lo que conocemos como 4G. Esta *Release* fue congelada en junio de 2011.

Desde entonces hasta hoy se ha seguido trabajando en otras *Releases* en paralelo, habiéndose congelado la número 14 en septiembre de 2017.

### 2.1.2 Arquitectura

LTE se diseñó para hacer evolucionar la radio del UMTS (UTRAN, *Universal Terrestrial Radio Access Network*) hacia nuevas capacidades y performance, en lo que se denomina *Evolved UTRAN* (E-UTRAN).

Esta evolución se ha acompañado de otra en los aspectos no relacionados con la radio, en el marco de una nueva arquitectura SAE (*System Architecture Evolution*), que se materializa en la red EPC (*Evolved Packet Core*).

Uno objetivo importante con que se abordó SAE fue la optimización del sistema en su conjunto a través de una arquitectura más plana, lo que contribuiría a la consecución de otros objetivos que impulsaron la evolución, comunes con los que de forma global se plantearon como requisitos de la especificación de LTE (apartado 2.1.1):

- Simplificación respecto de otros sistemas celulares
- Optimización de la conmutación de paquetes en un entorno donde ya no iba a ser necesaria la conmutación de circuitos
- Mejoras de rendimiento
- Mejora de los tiempos de respuesta de activación y configuración de portadoras (*bearer*)<sup>2</sup>
- Reducción de retardos en la entrega de paquetes

LTE y SAE conforman lo que se ha denominado *Evolved Packet System* (EPS), al cual, de forma genérica, a veces también se le aplica la denominación extendida de LTE (Figura 2-2).



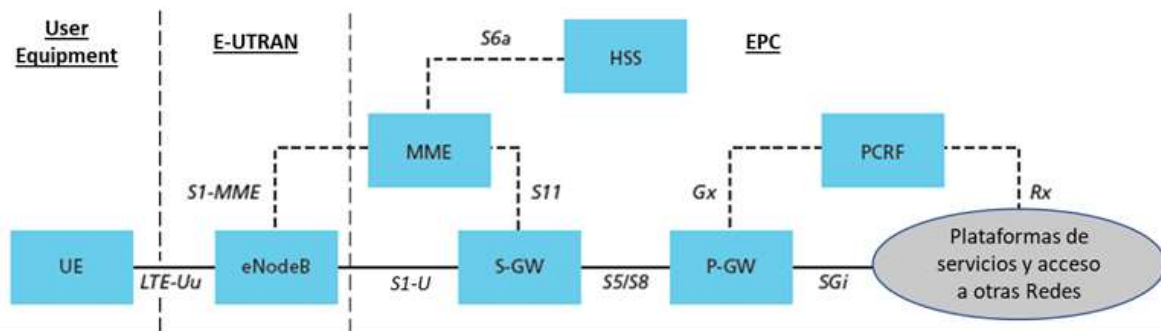
**Figura 2-2: Arquitectura EPS**

La Figura 2-3 muestra las distintas entidades lógicas que forman la arquitectura EPS y los interfaces entre ellas. En la planta del Operador estas entidades lógicas se ubican en diferentes elementos físicos, no necesariamente uno por cada una de ellas. Esta “organización” depende de criterios comerciales, de las características y tamaño de la Red

---

<sup>2</sup> LTE utiliza el concepto de portadora (*bearer*) para enrutar el tráfico IP extremo a extremo, desde un *gateway* en la red de datos hasta el Equipamiento de Usuario (UE, *User Equipment*). Por portadora se entiende un flujo de paquetes IP con una determinada calidad de servicio (QoS) definida entre el *gateway* y el UE. E-UTRAN y EPC establecen y liberan portadoras en función de los requerimientos de los usuarios y de las aplicaciones.

de cada Operador, de los fabricantes seleccionados para suministrar los diferentes elementos físicos y del diseño de Red global que se quiera implementar.



**Figura 2-3: Entidades lógicas de la arquitectura EPS**

Como muestra la Figura 2-3, la red de acceso radio E-UTRAN concentra toda su funcionalidad en una única entidad lógica, eNodeB (eNB), lógicamente ubicada en las estaciones base encargadas de radiar bajo tecnología LTE en las bandas de frecuencias asignadas.

Por el contrario, el EPC está compuesto por diferentes entidades. Las más significativas son MME (*Mobility Management Entity*), P-GW (*Packet Data Network, PDN, Gateway*) y S-GW (*Serving Gateway*). De hecho, muchas veces se refiere como EPC exclusivamente a estas tres entidades. Junto con HSS (*Home Subscriber Server*) constituyen los elementos esenciales para la provisión del servicio.

MME es el nodo de control de la arquitectura EPS, que gestiona la señalización entre los UEs y la red *core*. Desempeña funciones relacionadas con la gestión de portadoras (establecimiento, mantenimiento y liberación) y con la gestión de conexiones entre la Red y los UEs (establecimiento, seguridad, movilidad).

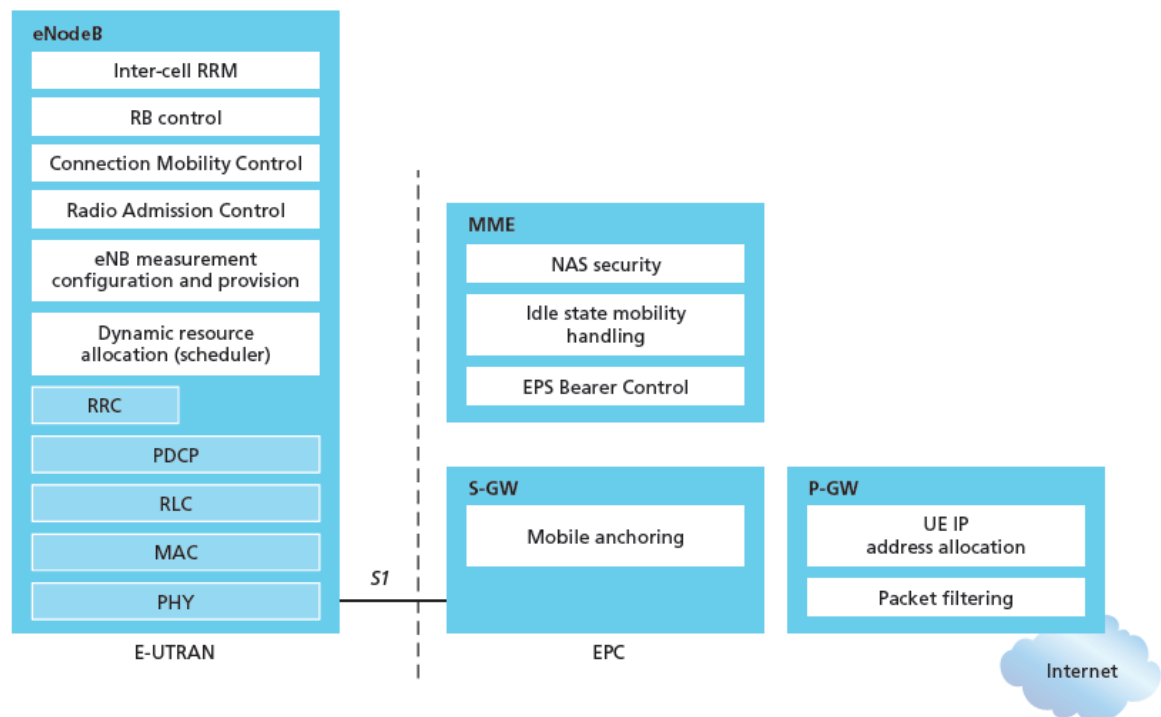
S-GW hace de pasarela para el tráfico entre el acceso radio (E-UTRAN) y la red *core*. Todo el tráfico IP de los UEs se cursa a través de ella.

P-GW es la pasarela del sistema con otras redes de datos bajo protocolo IP y con las plataformas de servicios.

HSS es la base de datos central de usuarios del sistema, que contiene su información de identificación y suscripción: identidades, permisos, calidades de servicio, redes y servicios a los que pueden conectarse. También contiene información dinámica, como la identidad del MME donde los UEs están registrados en cada momento y puede integrar funciones de autenticación (AuC, *Authentication Center*) y seguridad.

Finalmente, una entidad que no siempre está presente en todas las redes, PCRF (*Policy and Charging Rule Function*), es la encargada de la toma de decisiones en cuanto al control de las políticas de servicio y de la tarificación en base a flujos, que se aplican en el P-GW. Proporciona la clase de QoS y el *bit rate* que permiten al P-GW tratar un flujo de información de acuerdo al perfil de suscripción contenido en el HSS.

De acuerdo con la especificación 3GPP TS 36.300, el reparto de funciones entre E-UTRAN y EPC responde a lo recogido en la Figura 2-4. Por razones de alcance de este Trabajo no entraremos a detallar en profundidad todas estas funciones [6].



**Figura 2-4: Distribución funcional entre E-UTRAN y EPC**

### 2.1.3 Red de acceso radio, E-UTRAN

La red de acceso E-UTRAN (Figura 2-5) es una malla de eNodeBs que se conectan entre vecinos con interfaces X2 y al EPC mediante la interfaz S1. Como se ha dicho en el apartado 2.1.2, toda la funcionalidad E-UTRAN se concentra en los e-Nodos B.

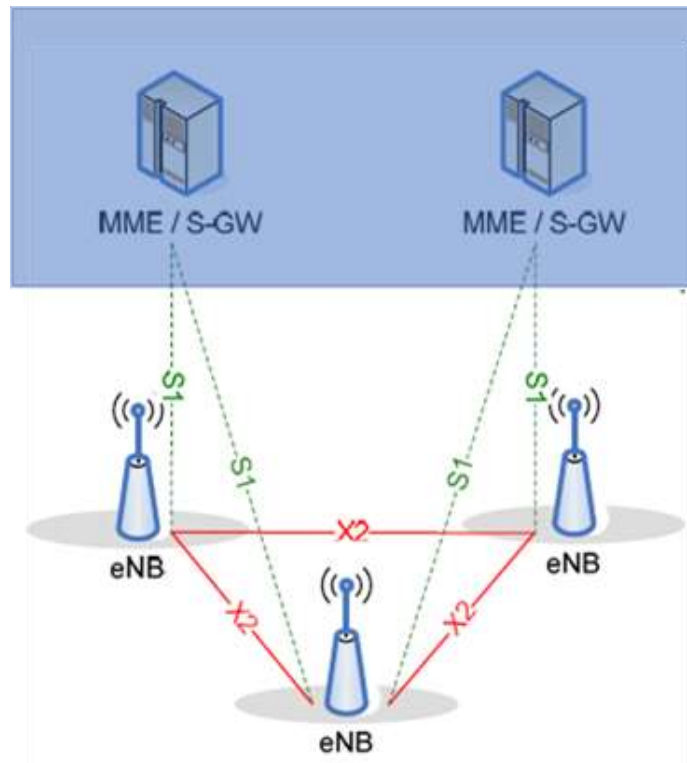
Los eNodeBs actúan como un *bridge* de nivel 2 entre el UE y el EPC, siendo el punto de terminación de todos los protocolos de radio con el UE y transmitiendo datos entre la conexión de radio y el EPC con una conectividad basada en IP.

El eNodeB es el responsable de la gestión de los recursos radio (RRM, *Radio Resource Management*), y juega un papel importante en la gestión de la movilidad (MM, *Mobility Management*), monitorizando el nivel de señal de los UEs y, en base al mismo, tomando decisiones de *handover*<sup>3</sup> (HO) entre células, para lo que señalará con el MME y con otros eNodeBs.

Igualmente, los eNodeBs son los responsables de enrutar las demandas de conexión a la red por parte de los UEs hacia el MME que previamente les había prestado servicio o, en caso de no encontrar una ruta posible hacia el mismo, seleccionar un nuevo MME.

---

<sup>3</sup> Se conoce como *handover* al procedimiento por el cual se garantiza la continuidad del servicio sin interrupciones cuando un usuario se mueve entre eNodesB. Para realizar la transferencia se evalúa la calidad de la señal que el terminal recibe de cada uno de los eNodesB cercanos.



**Figura 2-5: Arquitectura E-UTRAN**

Así, las principales funciones de un eNodeB serían:

- Gestión de la movilidad
- Manejo de las portadoras
- Configuración de la seguridad
- Entrega de datos en subida y bajada
- *Handover* entre eNodeBs
- Reenvío de datos de bajada durante los *handovers*
- Gestión de recursos radio
- Securización y optimización de la interfaz radio

### **2.1.3.1 Estructura de la trama FDD<sup>4</sup>**

En LTE la trama radio tiene una duración de 10 ms y se divide en 20 slots de 0,5 ms (Figura 2-6). Cada uno de ellos se denomina bloque de recursos (RB, *Resource Block*).

Cada trama comprende 10 subtramas de duración 1 ms, por lo que cada subtrama comprende 2 RBs.

En el plano de la frecuencia, cada RB agrupa 12 subportadoras de 15 KHz, lo que totaliza 180 KHz por cada RB.

---

<sup>4</sup> La red del Operador utiliza fundamentalmente transmisión FDD (*Frequency Division Duplex*), por lo que en este trabajo no se harán referencias a la TDD (*Time Division Duplex*)



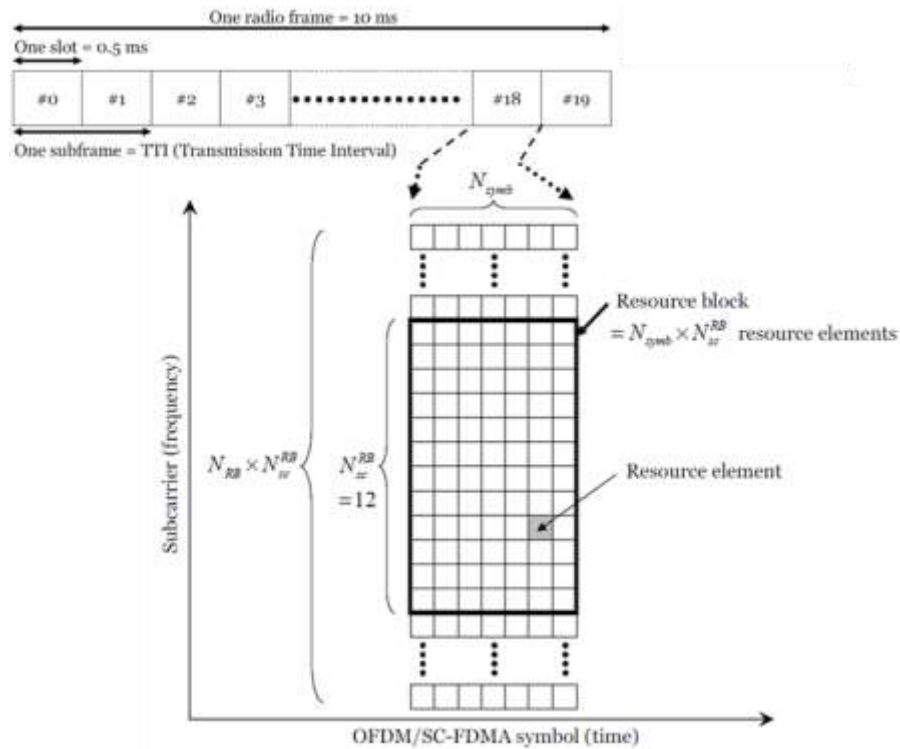


Figura 2-6: Estructura de la trama FDD y rejilla de recursos

### 2.1.3.2 Acceso multiple, OFDMA y SC-FDMA

LTE gestiona el acceso múltiple al espectro mediante diferentes técnicas de acceso al medio en los enlaces ascendente y descendente. Mientras que en el descendente utiliza OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), en el ascendente usa SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) (Figura 2-8).

En OFDMA la transmisión se realiza utilizando las subportadoras de 15 KHz mutuamente ortogonales, independientemente del ancho de banda de transmisión total. La ortogonalidad entre las portadoras permite que en el instante de muestreo de una de ellas las demás tengan valor cero (Figura 2-7).

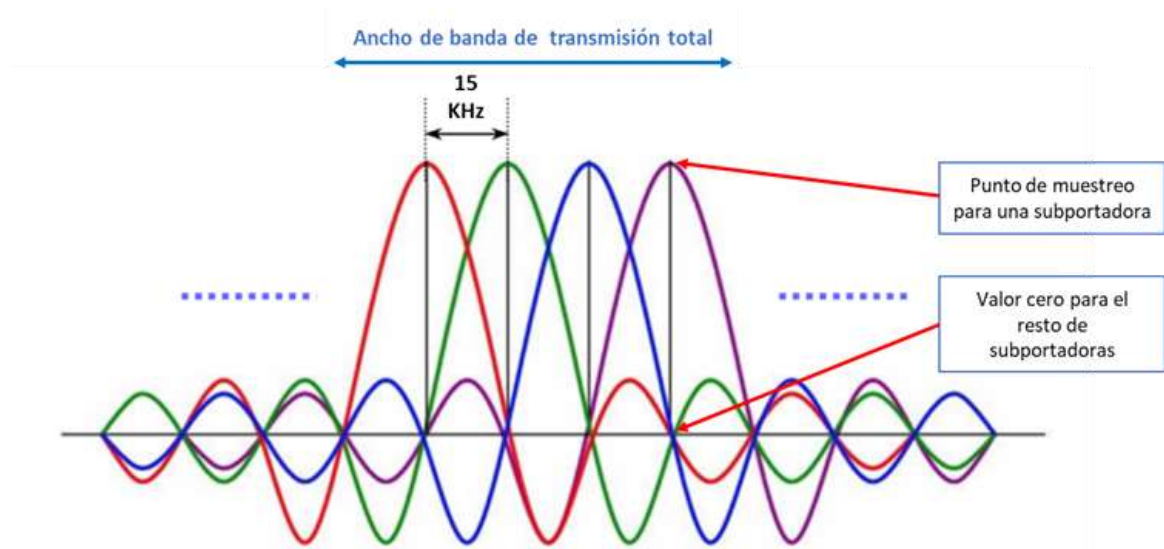
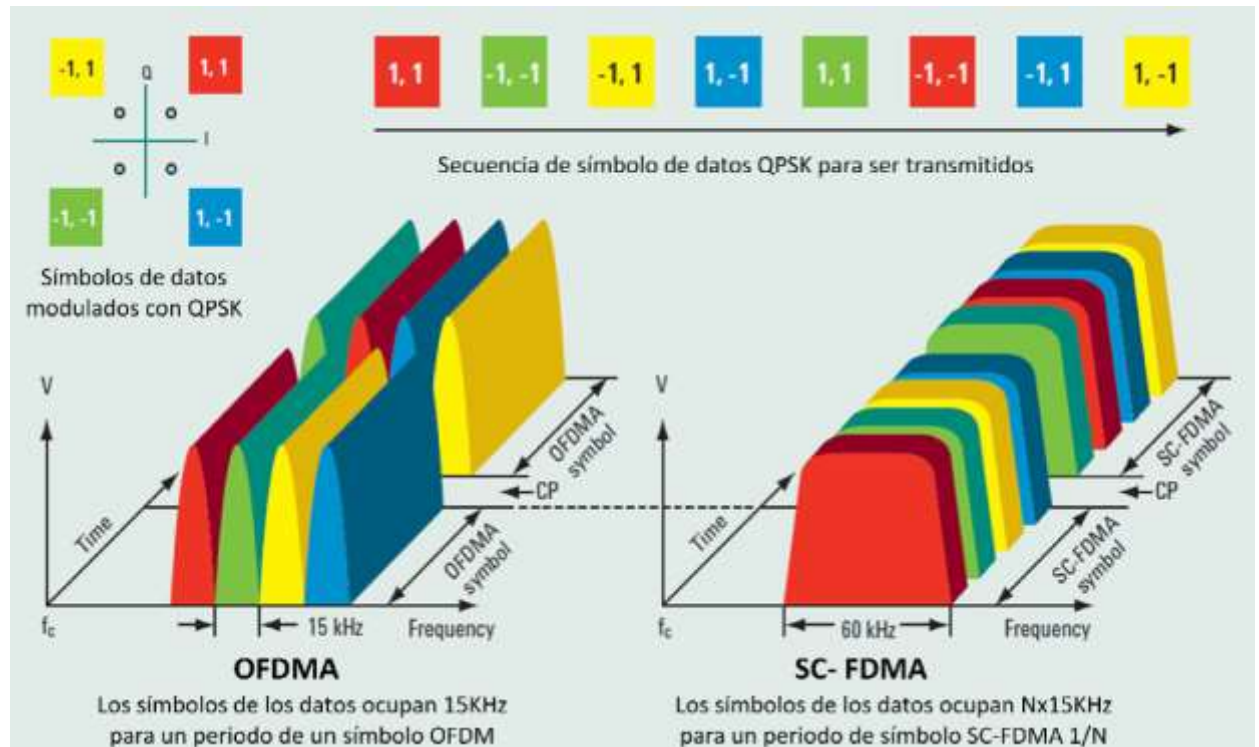


Figura 2-7: Efecto de la ortogonalidad de subportadoras en OFDMA

Dado que OFDMA requiere un consumo energético alto, que impactaría mucho en los terminales, en el enlace ascendente se utiliza SC-FDMA con el mismo esquema de subportadoras y RBs que OFDMA.

Ambas técnicas trabajan tanto en el dominio de la frecuencia como en el del tiempo (Figura 2-6).

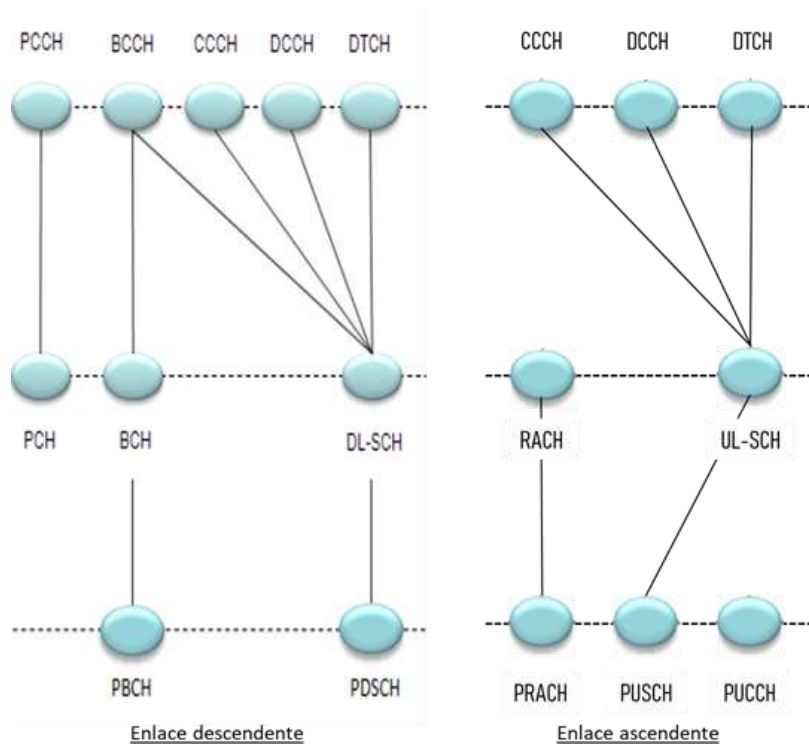


**Figura 2-8: Comparativa entre OFDMA y SC-FDMA**

### 2.1.3.3 Canales de comunicación

En LTE se establecen distintos flujos de información entre los protocolos a los que denominamos canales (Figura 2-9). Pueden ser lógicos, de transporte o físicos, en función del tipo de información que transportan y por la forma de procesar esta.

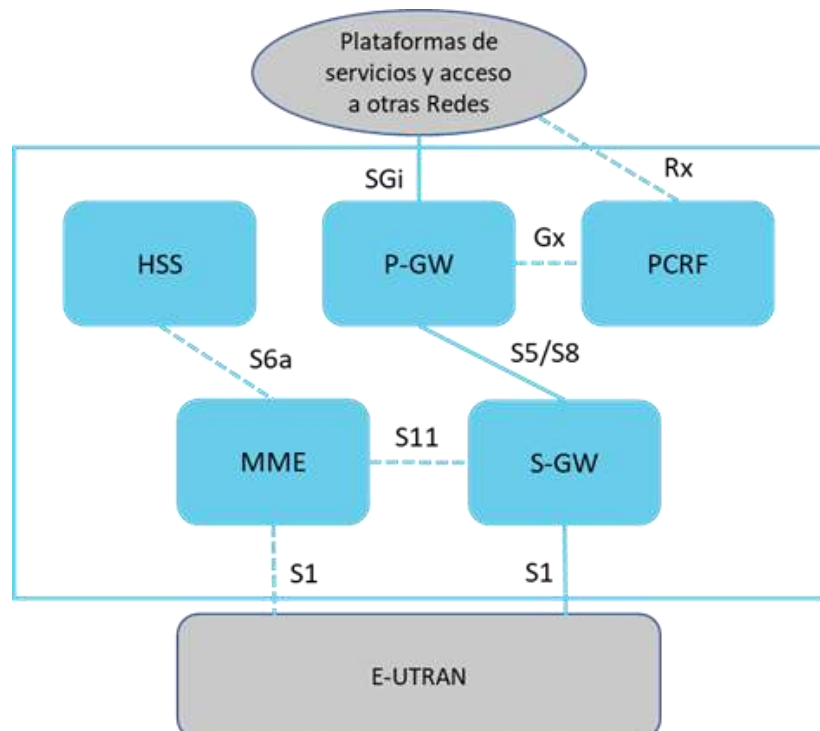
Por canales lógicos se entiende aquellos que definen qué tipo de información se transmitirá por el aire. Los de transporte son los que definen cómo se ha de transmitir la información. Y los físicos dónde se transmite la información.



**Figura 2-9: Canales de comunicación LTE**

#### 2.1.4 Red core, EPC

La Red *core* EPC ha sido diseñada para proporcionar exclusivamente conmutación de paquetes e interconexión con otras redes bajo protocolo IP. La nueva arquitectura, radio y *core*, es IP extremo a extremo, hasta el terminal del cliente.



**Figura 2-10: Arquitectura EPC**

#### **2.1.4.1 HSS (*Home Subscriber Server*)**

Base de datos centralizada que almacena los datos permanentes de los usuarios y algunos datos dinámicos relativos a su presencia y comportamiento en la Red.

En el HSS se encuentra el perfil de suscripción de cada usuario, donde se determina los servicios y redes a los que puede acceder y las características o calidades de servicio con las que puede acceder a ellos. También almacena los P-GW en uso y las claves de autenticación.

El HSS está conectado a todos los MMEs de la Red, a los que les proporciona la información necesaria respecto de los UEs. El HSS registra la asociación de cada UE con uno de los MMEs (un UE solamente puede estar asociado a un MME). Cuando otro MME le informa que ha tomado control de un UE, sobrescribe la información anterior.

#### **2.1.4.2 MME (*Mobility Management Entity*)**

Es un elemento exclusivamente de control: no participa de las comunicaciones de datos.

Gestiona el acceso de los terminales a través de E-UTRAN. Todos los UE registrados en la Red tienen asignado un MME que mantiene el contexto del usuario (identificadores, claves, conexiones) y realiza toda la gestión en torno al mismo y sus comunicaciones. Accede a la información almacenada en los HSS respecto de los usuarios, sus permisos, capacidades, etc. y es quien controla la actividad del S-GW para permitir sus comunicaciones.

Sus principales funciones son:

- Autenticación de los UEs cuando se registran por primera vez en la Red. Los datos de autenticación los obtiene accediendo a la información contenida en el HSS. Esta función se puede repetir periódicamente o si se necesita en algún momento de la comunicación o acceso a los servicios.
- Seguridad. Calcula las claves de cifrado y protección de integridad de los UE a partir de la clave maestra recibida desde el HSS en el vector de autenticación, y controla la configuración relacionada en E-UTRAN, para bajada y subida por separado.
- Gestión de la movilidad. El MME realiza un seguimiento de la ubicación de todos los UEs en su área de servicio y participa en el *handover* entre eNodeBs.
- Administración de los perfiles de suscripción y la conectividad del servicio. Cuando un UE se registra en la Red, el MME obtiene su perfil de suscripción accediendo al HSS y lo almacena mientras dure el servicio al UE. En función de ese perfil, configura la portadora señalizando con el eNodeB y el SGW.

#### **2.1.4.3 S-GW (*Serving Gateway*)**

Facilita la conexión entre los terminales y la Red *core*, permitiendo el encaminamiento del tráfico enviado o recibido por aquellos.

Cuando el UE se mueve entre eNodeBs, sirve de anclaje para las portadoras, manteniendo incluso su información cuando los UEs están inactivos.

#### **2.1.4.4 P-GW (*PDN-Gateway*)**

Se encarga de proporcionar conectividad con redes externas y con las plataformas de servicio, ajenas a la arquitectura EPS.

Es responsable de asignar las direcciones IP al UE a través de un DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) interno o solicitándolo a uno externo. De esta forma facilita que los

terminales tengan visibilidad en las redes IP externas y puedan establecer comunicaciones en las mismas

Aplica las políticas de calidad de servicio y tarificación determinadas por el PCRF.

Gestiona la movilidad entre la red 3GPP y redes externas que no siguen este estándar.

#### **2.1.4.5 PCRF (Policy and Charging Rules Function)**

Es la entidad que realiza el control de las políticas de servicio y de la tarificación.

Toma decisiones en cuanto a la forma de gestionar la QoS de los servicios, enviando la información necesaria al P-GW para que las correspondientes políticas sean aplicadas.

## **2.2 eMBMS**

La funcionalidad eMBMS (*evolved Multimedia Broadcast Multicast Services*), también llamada *LTE Broadcast*, permite que dentro de una red LTE se pueda enviar el mismo contenido a muchos usuarios simultáneamente, en modo *broadcast*, con un uso más eficiente de los recursos en comparación con que cada uno de ellos, con un alto nivel de concurrencia, solicite el acceso a esa información en un modelo de “contenido bajo demanda”, donde la transmisión se realiza en modo *unicast*: en este caso la Red proporciona un flujo de información diferente para cada usuario, aunque el contenido sea el mismo para todos ellos (Figura 2-11).



**Figura 2-11: Comparación entre *broadcast* y *unicast* en una red móvil**

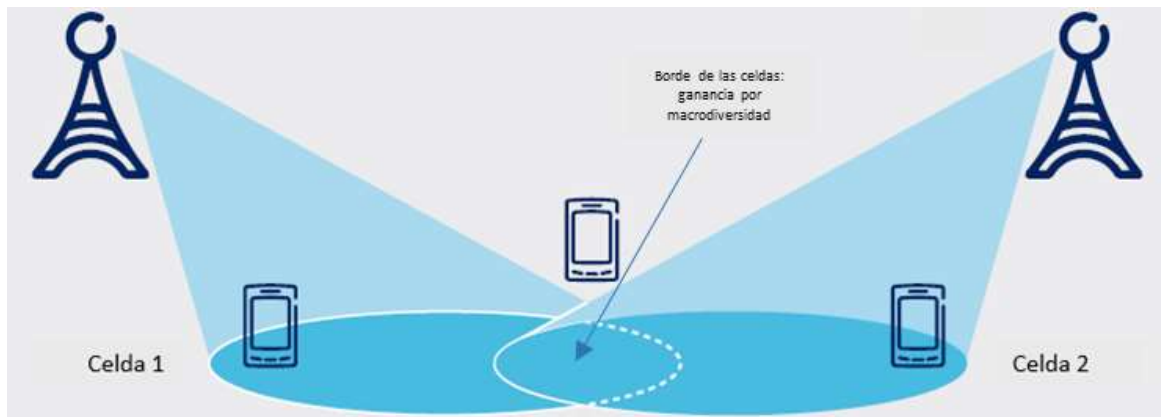
En eMBMS la red LTE usa una configuración SFN (*Single Frequency Network*). Esto es: todos los nodos radio de un área MBSFN (*MBMS Single Frequency Network*) de la Red radian en subtramas reservadas la misma información de forma sincronizada en el tiempo. De esta forma, la transmisión desde diferentes células aparece al UE receptor como multitrayecto desde una única, lo cual permite una considerable ganancia por macrodiversidad en el UE (Figura 2-12).

MBMS fue especificado por el 3GPP en la *Release 6*, pero cobra una mayor relevancia con el advenimiento del LTE dado el incremento significativo de ancho de banda que proporciona frente al GSM y UMTS. Así, en las *Releases 8* y *9* se definen los primeros estándares del eMBMS, que se van mejorando en las *Releases* posteriores.

Hay tres aspectos a resaltar en la tecnología eMBMS que son relevantes para el servicio:

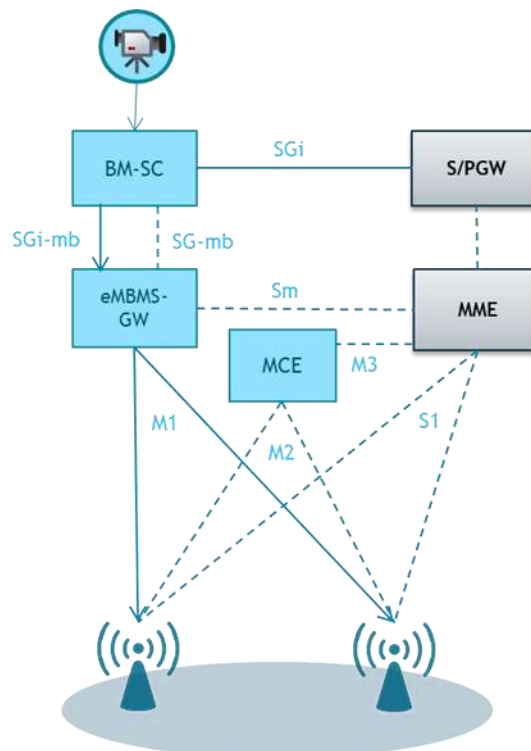
1. No hay interferencia entre células, sino todo lo contrario, ya que la transmisión en todas las células de un área SFN está sincronizada.
2. No hay congestión, puesto que se transmite una sola copia de contenido a todos los usuarios del servicio.

- Hay modulación fija para toda el área de cobertura y no adaptativa. Independiente de la calidad del enlace radio



**Figura 2-12: Transmisión sincronizada en un área MBSFN. Ganancia por macrodiversidad en el borde de células adyacentes**

La arquitectura de eMBMS es incremental a la del *core* EPC: no supone alterar la configuración de la red LTE que ya tiene desplegado el Operador, sino que, formando parte del ecosistema LTE, se incorpora a la misma añadiendo algunas entidades lógicas y nuevos interfaces de estas con las que ya conformaban EPS (Figura 2-13).



**Figura 2-13: Arquitectura eMBMS**

Las nuevas entidades que aparecen en la arquitectura EPS con la introducción de la funcionalidad eMBMS son:

- MCE (*Multicell/multicast Coordination Entity*)



Entidad de control que se encarga de la administración de los recursos radio asignados para eMBMS en todas las E-UTRAN que son parte del área de servicio eMBMS.

- eMBMS-GW (eMBMS Gateway)

Es la entidad encargada de entregar el tráfico MBMS a los eNodeBs, utilizando IP-multicast, para hacer que una misma copia del contenido llegue a múltiples células en una sola transmisión.

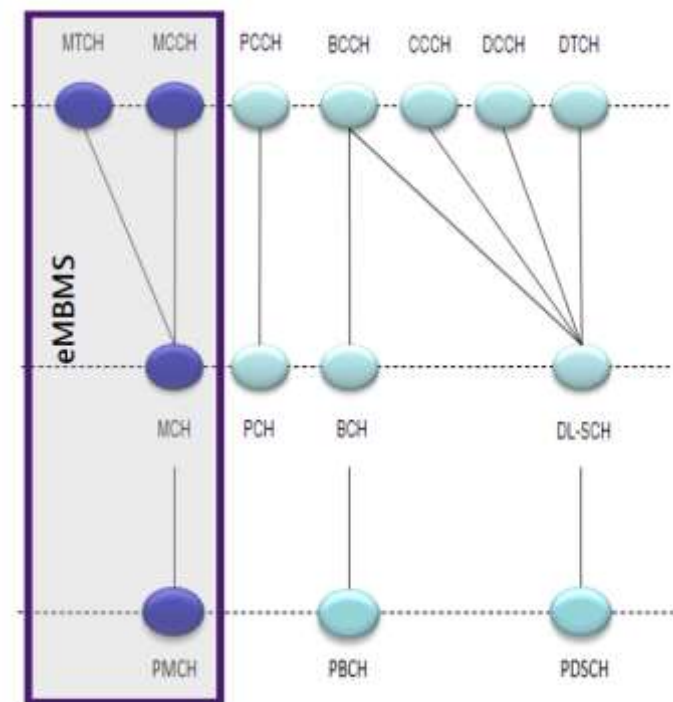
- BM-SC (Broadcast-Multicast Service Center)

Administra la interfaz con los proveedores de contenido, incluida la facturación y el propio contenido que se transmitirá a través de la red LTE.

La entidad MME, que ya está presente en la arquitectura del EPC (Figura 2-10), realiza ahora, además, el control de las sesiones eMBMS (eMBMS-SC, eMBMS *Sesion Control*): inicio, actualización y finalización. También entrega informaciones al MCE respecto a la QoS y al área de servicio eMBMS, entre otras.

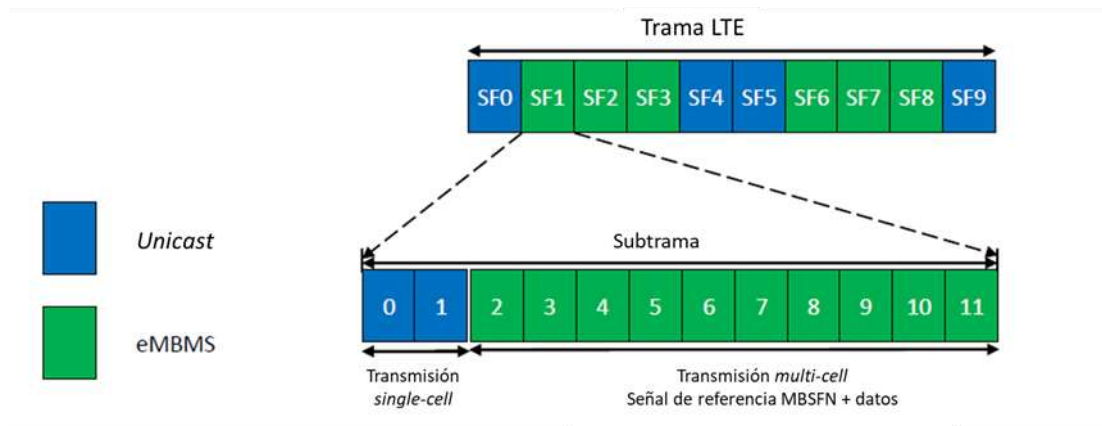
Con eMBMS se introducen también nuevos canales en el enlace descendente, tanto lógicos (MTCH, MCCH), como de transporte (MCH) y físicos (PMCH) (Figura 2-14).

- MTCH (*Multicast Traffic Channel*): transporta el contenido multimedia.
- MCCH (*Multicast Control Channel*): transporta contenido de control, como la asignación de subtramas MBMS y el esquema de modulación para que los usuarios de dispositivos móviles reciban correctamente el contenido multimedia, entre otros.
- MCH (*Multicast Channel*): transferencia de información al nivel de control de acceso al medio (MAC, *Medium Access Control*) y a los niveles superiores.
- PMCH (*Physical MBMS Channel*): transmisión de los datos de usuario y de control del eMBMS.



**Figura 2-14: Canales eMBMS**

Las transmisiones eMBMS y *unicast* se mezclan en la misma trama LTE (Figura 2-15).



**Figura 2-15: Subtramas eMBMS en la trama LTE-FDD**

Solamente 6 de las 10 subtramas pueden ser configuradas para eMBMS: las número 1,2,3,6,7 y 8. En cada subtrama, los primeros símbolos (1 o 2) se utilizan para canales comunes de señal y control de *unicast*.

## **2.3 Implantación de las tecnologías en la Red del Operador**

Los despliegues en las redes no se abordan en base a *Releases* completas, sino que los fabricantes van poniendo a disposición de los Operadores de forma paulatina funcionalidades de las nuevas *Releases* simultáneamente con la consolidación de las que ya están operativas.

En la actualidad en la Red del Operador está disponible la *Release* 13, pudiéndose, por ejemplo, alcanzar 300 Mbps en bajada agregando dos portadoras en las bandas de 1800 MHz y 2600 MHz. Se están incorporando funcionalidades como:

- Agregación de 3 y 4 portadoras en el enlace descendente (DL) y 2 en el ascendente (UL)
- Ordenes de modulación más altos para conseguir mayor eficiencia: 256 QAM en DL y 64 QAM en UL
- MIMO 4x4

Por supuesto que hay mayores capacidades en los distintos componentes desplegados en la Red por los diferentes fabricantes, pero para hacerla gestionable y mantenible es preciso mantener una alta homogeneidad entre sistemas y entre fabricantes. Así, mientras no se alcanza un nivel equiparable entre ellos no se despliega y activa en la Red ninguna nueva funcionalidad, salvo que haya requisitos críticos que aconsejen saltar la regla general.



### 3 Características del servicio

---

Como ya se ha dicho anteriormente, el objetivo de este Trabajo no es el desarrollo de un servicio, sino el diseño de los elementos de la Red que permitirán prestarlo con tecnología LTE-eMBMS.

Sin embargo, para valorar la viabilidad del modelo arquitectural y de recursos que se va a proponer, necesitamos de un servicio tipo que permita establecer un conjunto de requerimientos con los que trabajar.

Adicionalmente, el servicio que se va a describir brevemente a continuación tendrá dos objetivos adicionales:

- Establecer un conjunto de requisitos para los elementos del servicio, distintos a la Red, cuya disponibilidad también es parte de la viabilidad del servicio
- Poder disponer de una mínima base comercial que, desde el punto de vista del cliente, apoye la toma de una decisión, junto con los resultados de este Trabajo y las valoraciones financieras.

El servicio con el que se va a trabajar consiste en la distribución simultánea de 8 canales de televisión en modo *broadcast*, 4 de los cuales tendrán una calidad estándar (SD, *Standard Definiton*), con resolución 720 x 576 píxeles, y otros 4 serán canales destinados a mostrarse en modo PiP (*Picture in Picture*), con resolución 176 x 144 píxeles y sin audio.

El objetivo es aprovechar la forma en que se retransmiten actualmente los partidos de fútbol en España (y en casi todo el mundo) apoyándose en la disponibilidad de numerosas cámaras en el estadio: perimetrales, cenitales, ... Se utilizarán las señales que proceden de las diferentes zonas del estadio combinadas en 4 canales, con una producción no muy compleja, para garantizar la visibilidad casi simultánea desde cualquier parte del terreno de juego y la repetición de las jugadas que más interés puedan suponer para el espectador<sup>5</sup>.

Utilizando una presentación simultánea de los canales, en formato mosaico, similar a la que ya hoy se utiliza en las retransmisiones de Movistar+ Motor (Figura 3-1), se puede ofrecer una experiencia *premium* al espectador combinando el disfrute de los partidos de fútbol en el campo con un servicio simultáneo diferencial en sus terminales móviles.

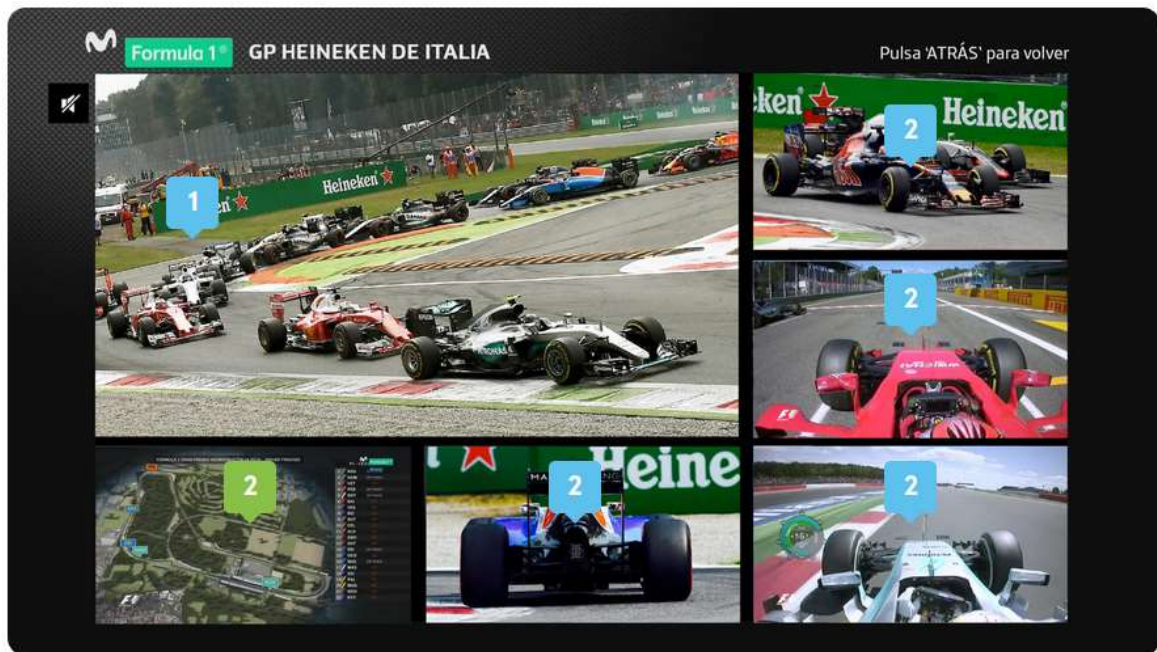
Para la codificación de los canales se utilizará el estándar H.265 (HEVC, *High Efficiency Video Coding*), que permitirá transmisiones de calidad con *bitrates* reducidos.

De cara al cliente final<sup>6</sup>, el servicio contará con alta interactividad y un cambio de canal intuitivo para modificar la presentación con un simple toque en pantalla. Permitirá, además, enriquecer la visualización de los canales con información que se encuentra en la web (texto, audio, imágenes, vídeo), a la cual se llegará por accesos *unicast* controlados por la aplicación para impedir un alto consumo de recursos.

---

<sup>5</sup> Actualmente en los estadios no hay un fácil acceso a la repetición de las jugadas, salvo mediante descargas individuales en los móviles a través de accesos *unicast*, con un alto consumo de recursos de la Red.

<sup>6</sup> Estas características no exigen requerimientos adicionales a la Red.



**Figura 3-1: Visualización en mosaico de Movistar+**

Es importante destacar que las situaciones de congestión de Red que a veces se producen en altas concentraciones de personas, como es el caso de los estadios de fútbol, no afectarán a la calidad de la imagen ya que el servicio dispondrá de recursos reservados para él. La adaptación de estos recursos a la demanda de los clientes es absoluta porque, al tratarse de *broadcast*, se transmitirá una sola copia de todos los canales de TV, con independencia del número de usuarios que la reciban (ilimitado).

## 4 Selección del estadio de fútbol

Para el despliegue e implantación de esta primera instancia del servicio, se ha optado por el estadio de fútbol Wanda Metropolitano (Atlético de Madrid) por un conjunto de características relativas a su despliegue de comunicaciones y cobertura radio que le posicionan positivamente en cuanto a calidad y efecto demostrador del servicio.

A lo largo de este capítulo se describirán los elementos que caracterizan a este estadio y en los que se ha basado la decisión.

Es importante destacar que la selección realizada no excluye en absoluto al resto de estadios españoles. Muchos de ellos, si no todos, podrían ser igualmente candidatos a que se desplegara el servicio en ellos. Solamente por razones de priorización, donde el aprendizaje con los elementos y el servicio desplegados en la planta juegan un papel esencial, han determinado que se empiece por el Metropolitano.

### 4.1 Tecnologías y frecuencias soportadas

El sistema desplegado en el estadio Wanda Metropolitano permite a los Operadores conectados al mismo dar, de forma concurrente, servicio móvil a sus clientes con tecnologías 2G, 3G y 4G (LTE) en las bandas de frecuencias de 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz y 2600 MHz.

### 4.2 Descripción de la solución para la cobertura móvil

El estadio Wanda dispone de una solución de cobertura para el servicio móvil neutra e independiente [9].

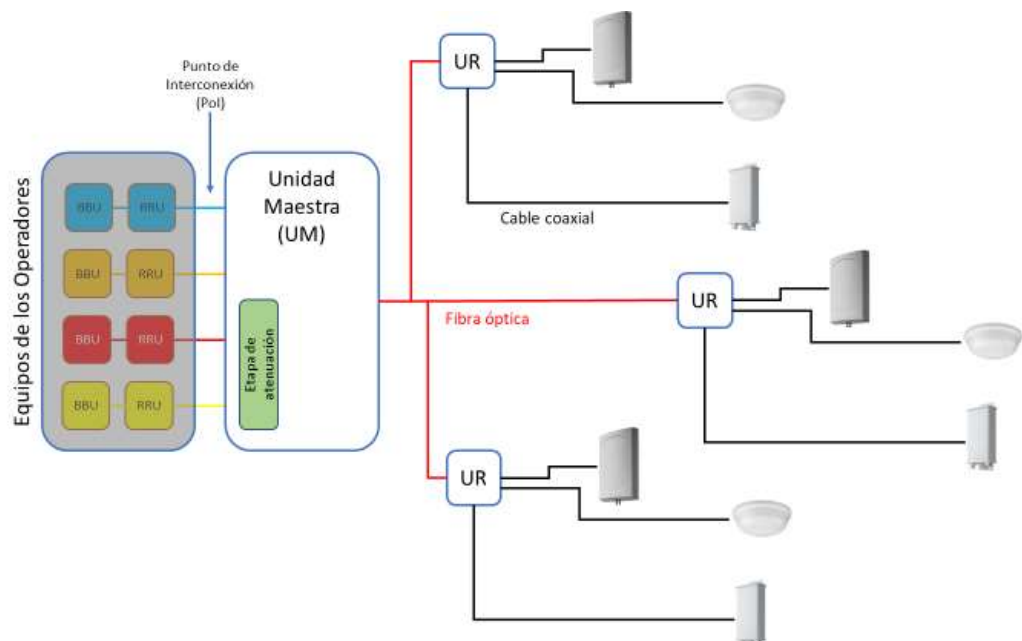


Figura 4-1: Arquitectura del Sistema de Antenas Distribuidas (DAS)

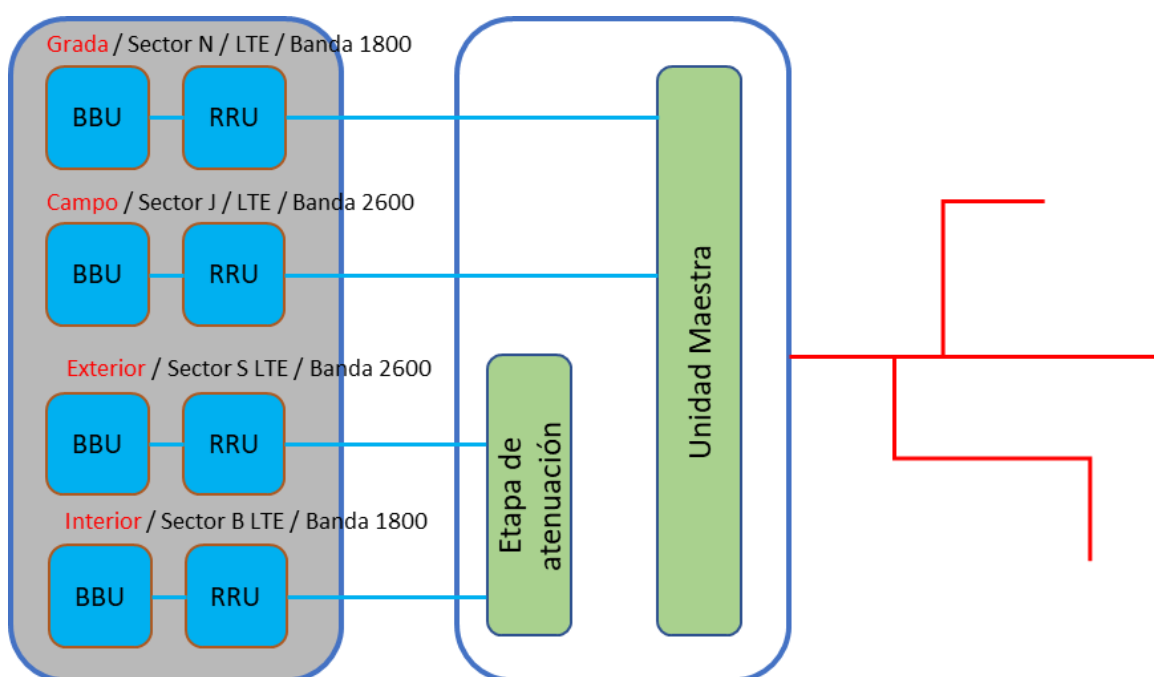
Es una solución multioperador, que permite dar servicio 2G, 3G y 4G (LTE) con una única red compartida de antenas (sistema DAS, *Distributed Antennas Systems*) que distribuye la señal procedente de las estaciones base de los Operadores mediante fibra óptica a Unidades Remotas (UR) de baja potencia, ubicadas junto a las antenas, para minimizar la interferencia.

#### 4.2.1 Arquitectura DAS (*Distributed Antennas System*)

El sistema DAS del Wanda Metropolitano responde al esquema reflejado en la Figura 4-1.

La Unidad Maestra (UM) es la unidad de control del sistema a la que se conectan los equipos de los Operadores, hasta un máximo de 4. En la UM entran todas las señales de Radiofrecuencia (RF) de los Operadores.

La señal entregada por cada Operador para cada uno de los sectores, para cada banda y para cada tecnología se conecta a la Unidad Maestra, bien directamente, en el caso de los sectores correspondientes a las gradas y al terreno de juego<sup>7</sup>, o bien a través de una etapa de atenuación, en el caso de los sectores de interiores y exteriores<sup>8</sup> (Figura 4-2).



**Figura 4-2: Conexiones a la Unidad Maestra con y sin etapa de atenuación**

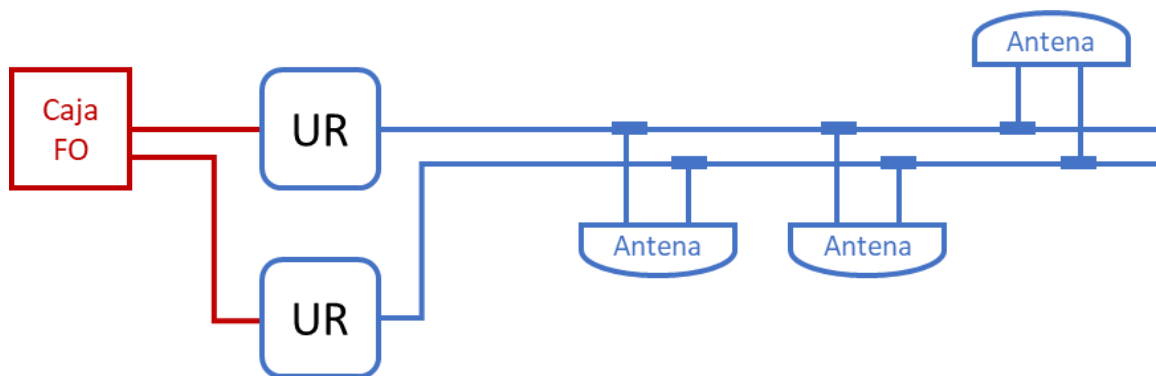
La UM envía las señales recibidas de los sistemas de los Operadores a través de la red de fibra óptica hasta las Unidades Remotas.

Son las URs quienes transforman las señales ópticas recibidas en señales radioeléctricas, las amplifican y las distribuyen a las antenas mediante cables coaxiales.

Para distribuir las señales MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) de cada Operador se requiere una instalación de Unidades Remotas en parejas, conectándose a cada pareja varias antenas en cascada.

<sup>7</sup> Veremos más adelante que para estos sectores se utilizan URs de baja potencia

<sup>8</sup> Veremos más adelante que para estos sectores se utilizan URs de alta potencia



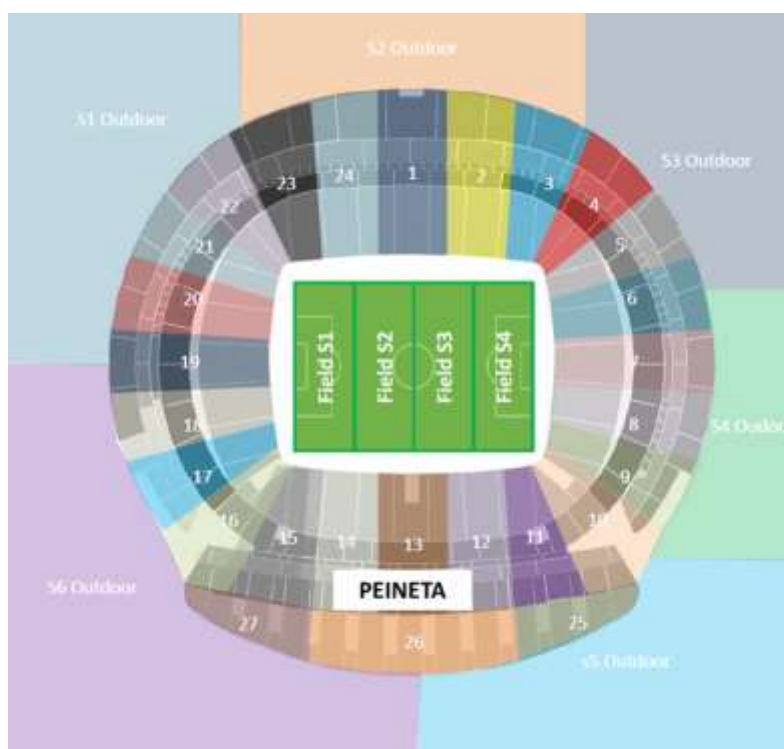
**Figura 4-3: Esquema de conexión de antenas a las Unidades Remotas**

## 4.2.2 Cobertura del estadio

El sistema desplegado en el Wanda Metropolitano es una solución pensada para cursar altos volúmenes de tráfico, con una muy buena cobertura tanto en las gradas como en los interiores y exteriores del estadio.

Se ha realizado una sectorización (Figura 4-4) configurada como sigue:

- Gradas: 27 sectores MIMO en las bandas de 1800 MHz, 2100 MHz y 2600 MHz
- Exterior: 6 sectores MIMO en las bandas de 1800 MHz, 2100 MHz y 2600 MHz
- Interior: 6 sectores MIMO en las bandas de 1800 MHz, 2100 MHz y 2600 MHz
- Campo: 4 sectores MIMO en las bandas de 1800 MHz, 2100 MHz y 2600 MHz
- Gradas e interior: 4 sectores SISO en la banda de 900 MHz



**Figura 4-4: Cobertura: sectorización del estadio**

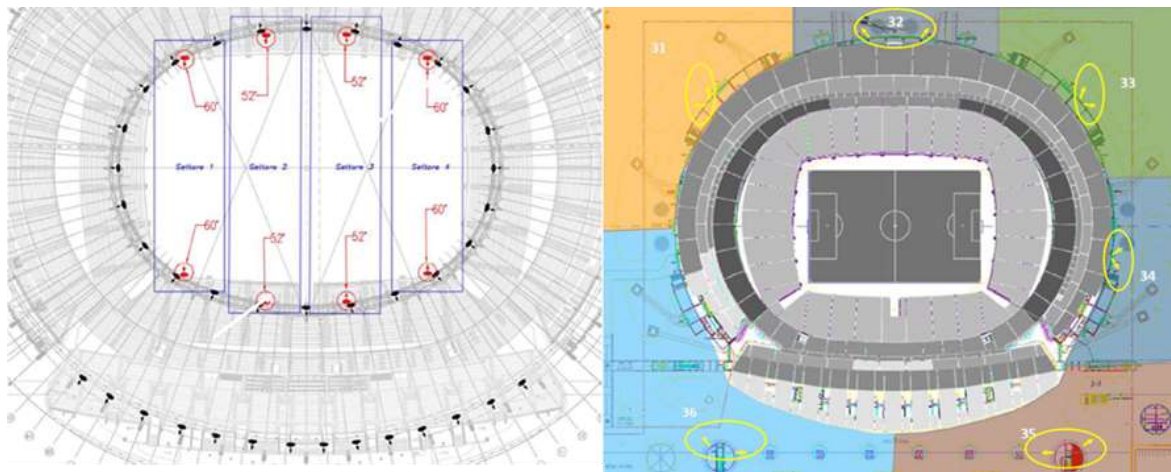
Los 4 sectores SISO (*Single Input Single Output*) de 900 MHz, cuentan con 62 Unidades Remotas para dar cobertura en las gradas y 6 para las zonas de interior. No volveremos a hacer referencia a estos sectores y unidades a lo largo de la memoria ya que, en ningún caso, al menos de momento, soportan tecnología LTE.

Para la cobertura de los 6 sectores de interior se dispone de 12 Unidades Remotas de alta potencia que controlan más de 157 antenas, con una cobertura adaptada a los múltiples usos del estadio y de cada una de sus dependencias.

La cobertura de los 6 sectores exteriores se realiza con otras 12 Unidades Remotas de alta potencia que, en este caso, solo controlan 12 antenas, con minimización del impacto visual en el exterior del estadio sin pérdida de prestaciones. La cobertura se realiza desde el interior del estadio y desde las construcciones cilíndricas que se ubican en el exterior (Figura 4-5).

La cobertura de las gradas cuenta con 24 sectores con 48 Unidades Remotas, en este caso de baja potencia, que controlan un total de 24 antenas. Adicionalmente, en la zona de la Peineta hay otros 3 sectores más con 14 Unidades Remotas, también de baja potencia, de las que dependen 14 antenas y, enfocando a la parte alta, 7 antenas más.

Finalmente, para el campo se utilizan Unidades Remotas de baja potencia, en número de 16 para los 4 sectores que le dan cobertura. Estas Unidades controlan un total de 6 antenas.

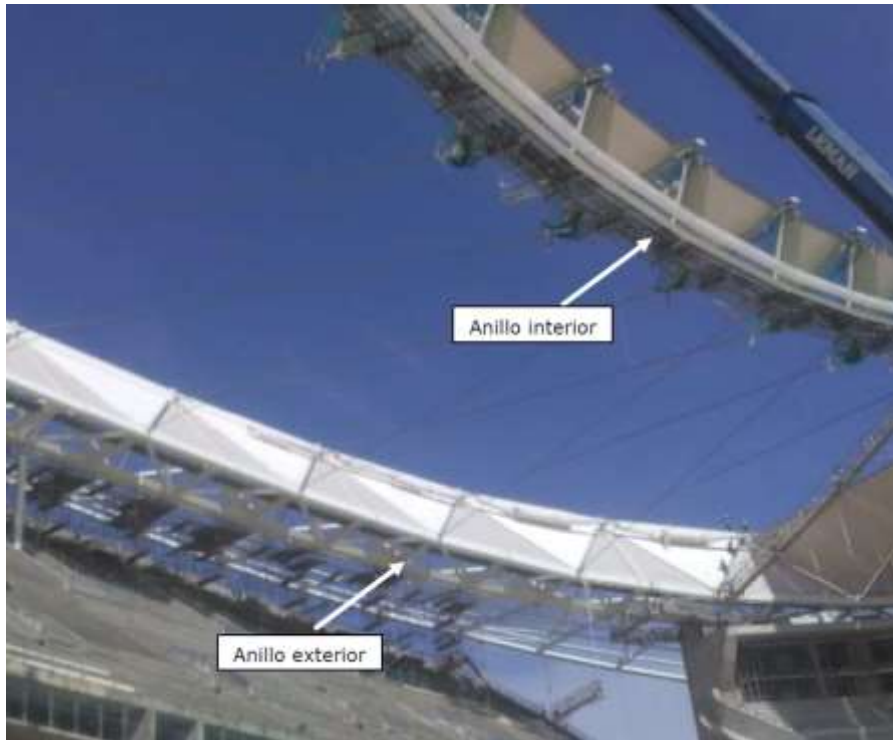


**Figura 4-5: Ubicación de antenas para cobertura de gradas, campo y exteriores**

La cobertura del graderío y del terreno de juego tiene características especiales por el lugar dónde se ubican las antenas. Estas se anclan en los anillos interior y exterior que forman parte de la cobertura del estadio (Figura 4-6). Las ubicadas en el anillo exterior están destinadas a dar cobertura a la zona de la Peineta, zona con características constructivas diferentes al resto de las gradas.

Esto facilita una buena iluminación de todas las gradas y del terreno de juego y una buena cobertura para todos los espectadores, sin que su ubicación impacte en la calidad percibida.





**Figura 4-6: Ubicación de las antenas en la cubierta**

#### **4.2.3 Características radio del despliegue**

Como ya se ha dicho, la cobertura radio de estadio permite prestar servicios 2G, 3G y 4G (LTE) sobre las bandas de 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz y 2600 MHz.

Se radia con un esquema MIMO 2x2 (excepto en la banda de 900 MHz), garantizando una RSRP (*Reference Signal Received Power*) mayor de -90 dBm en el 95% de los casos y una SINR (*Signal to Interference and Noise Ratio*) >18 dB en el centro de las células.

Para ello las Unidades Remotas de alta potencia tienen una potencia de salida de 43 dBm y 28 o 30 dBm las de baja potencia para las bandas de 1800 MHz y 2600 MHz, respectivamente.

Se garantiza siempre un *throughput* de 2 Mbps en bajada para los clientes de cada Operador, teniendo en cuenta su cuota de mercado y la capacidad de 68.000 espectadores del estadio.





## 5 Diseño de la solución

---

Una vez identificado el servicio a soportar y el entorno donde vamos a desplegarlo, que nos marcan requerimientos y condiciones de contorno para el diseño de la solución, se procede con este en varias etapas.

En primer lugar, consideraremos cuál es la configuración de la Red móvil actual del Operador. Es nuestro punto de partida y, dado que, tal como se ha expuesto en la motivación del servicio (apartado 1.1), la eficiencia en la ejecución de nuevas inversiones es un requisito obligatorio para su viabilidad, nos delimita cuál ha de ser el marco del desarrollo.

La siguiente fase del diseño será la selección de los fabricantes. La red cuenta ya con un conjunto de suministradores para los servicios actuales con los que habrá que contar. También podrían incorporarse nuevos. Valorando las condiciones de contorno del servicio y la convivencia de las distintas tecnologías, se identificará cuáles serán los fabricantes cuyos elementos de red son viables para el desarrollo del servicio.

Una vez conocidos los elementos de red con los que potencialmente se puede construir el servicio, se definirá una arquitectura de la solución que cumpla con el marco de desarrollo que hemos definido.

En las dos etapas de diseño siguientes se seleccionarán las bandas de frecuencias que se usarán para el servicio, entre aquellas en las que se opera con tecnología LTE, y se dimensionará la utilización de recursos en la interfaz radio.

Finalmente, como colofón, se identificarán aquellos elementos ajenos a la Red y al desarrollo objetivo de este Trabajo que también son necesarios para la puesta en operación del servicio y su viabilidad comercial.

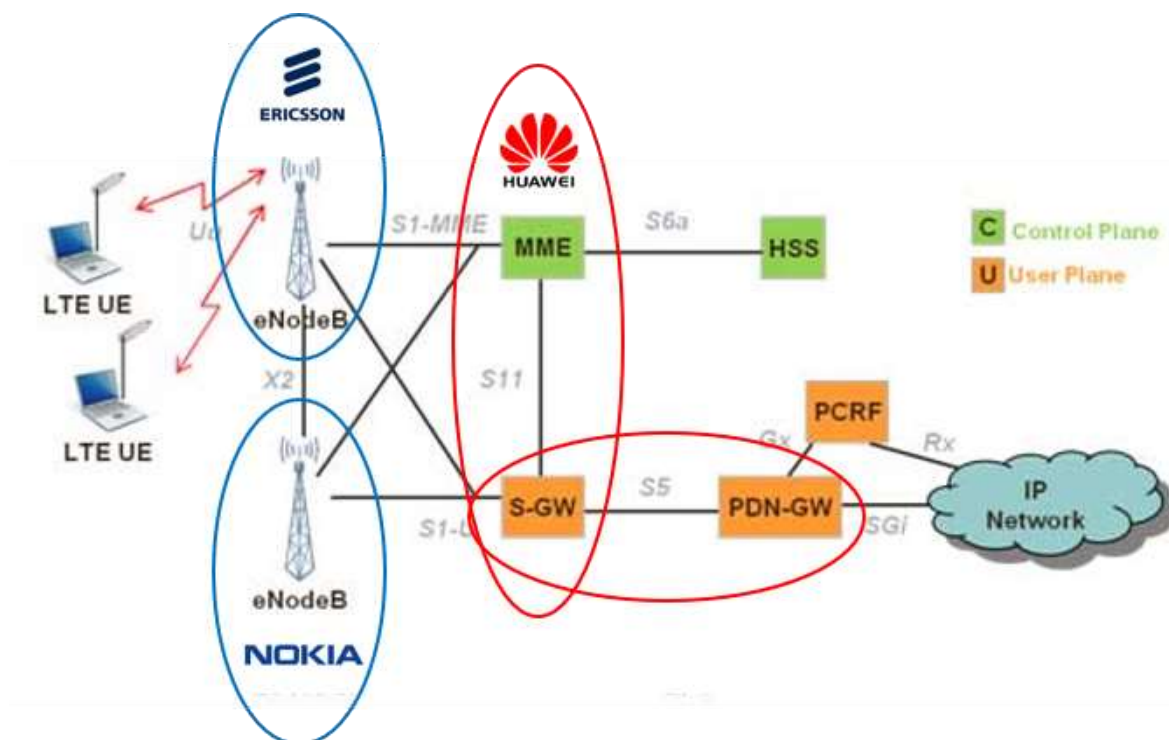
### **5.1 La Red actual. Fabricantes e interoperabilidad**

La Red móvil del Operador cuenta con diferentes fabricantes en los planos de *core* y de acceso. Además, el acceso radio cuenta con diversidad de suministradores, en función del ámbito geográfico del despliegue.

El *core* (EPC) es suministrado por Huawei y el acceso radio por Nokia y por Ericsson (Figura 5-1).

En un entorno de múltiples fabricantes es preciso asegurar la interoperabilidad (IoT) entre los mismos. Aunque todos los elementos de la Red, los actuales y los potenciales de nueva incorporación, responden a estándares 3GPP y funcionan conjuntamente en muchos escenarios, su interoperabilidad total no es inmediata y debe ser asegurada por acuerdos y pruebas realizadas entre los fabricantes, que se refrendan con pruebas en los laboratorios y en la planta realizadas por el Operador.

No es suficiente la sola realización de pruebas por parte del Operador porque, aunque verifican el interfuncionamiento en el momento de su realización, no aseguran que el mismo se mantenga con las nuevas *releases* de *hardware* y *software* de todos los suministradores. Por eso es necesario el acuerdo entre fabricantes que comprometa un correcto funcionamiento con la planta actual y con su evolución a futuro.



**Figura 5-1: Fabricantes en la red móvil del Operador**

Tanto Ericsson como Huawei disponen de plataformas eMBMS, con diferentes estadios de interoperabilidad frente a los elementos desplegados actualmente en la Red.

La plataforma eMBMS de Ericsson solo asegura interoperabilidad plena con la red radio del mismo fabricante, por lo que requeriría de un proceso que asegurase la IoT, tanto con la red radio de Nokia como con EPC de Huawei, los otros dos fabricantes presentes en la red móvil del Operador.

Huawei solamente está a falta del acuerdo formal entre fabricantes para asegurar la interoperabilidad de su plataforma eMBMS con la red radio de Ericsson y desde 2017 dispone del *software* necesario para poder interfuncionar con la de Nokia.

La no interoperabilidad, por un lado, puede blindar el control de un determinado mercado (la red de un Operador) por parte del primer fabricante que haya desplegado primero en la misma, pero, por otro, impide acceder a nuevas posibilidades de negocio en las redes que otros suministradores tengan blindadas.

En cualquier caso, la barrera que supone la no interoperabilidad a la libre toma de decisiones por parte de los Operadores respecto de la selección de los fabricantes, cada día es más reducida por la relativa sencillez de cambiar las redes, en parte o en su totalidad, aprovechando las imprescindibles evoluciones tecnológicas.

Por estas razones, los fabricantes tienden, más a corto que a medio plazo, a ser interoperables entre sí, peses a los costes que les pudieran suponer en adaptaciones y pruebas, que no son tan elevados en las redes móviles por su alta estandarización. Al final, a los suministradores les interesa interoperar porque hay muchos Operadores en el contexto global, con escenarios de todo tipo, y todos quieren seguir formando parte de la solución.

Es importante la fuerza que tienen los (grandes) Operadores cuando están comprometidos con el despliegue de nuevos servicios, que requieren de estos acuerdos de IoT entre fabricantes, para empujarlos a su firma.

## 5.2 Arquitectura de la solución

Como se ha introducido en el apartado 5.1, la interoperabilidad puede ser el obstáculo más importante para el correcto funcionamiento de la solución de Red que se proponga. Por esta razón, uno de los objetivos de esta etapa será minimizar la IoT.

Debido a ello, descartamos de entrada la incorporación de nuevos *vendors* en la Red para prestar un nuevo y único servicio (a priori). Además, supondría hacer más complejo y costoso el mantenimiento posterior de la solución desplegada, con impacto en la propia Red, que está prestando los servicios básicos de comunicaciones.

### 5.2.1 MCE (Multicell/multicast Coordination Entity)

La red de acceso móvil de Madrid, donde se ubica el estadio Wanda Metropolitano, cuenta con elementos de Red radio (E-UTRAN) suministrados por Ericsson, lo que será determinante para esta primera implantación del servicio.

Apoyándonos en las funcionalidades proporcionadas por este fabricante, optamos por desarrollar una arquitectura MCE distribuida [6]. La posibilidad de ubicar la entidad lógica MCE (*Multicell/multicast Coordination Entity*) en los eNodeBs nos permite optimizar el despliegue de nuevos elementos al incorporar la plataforma eMBMS en la Red.

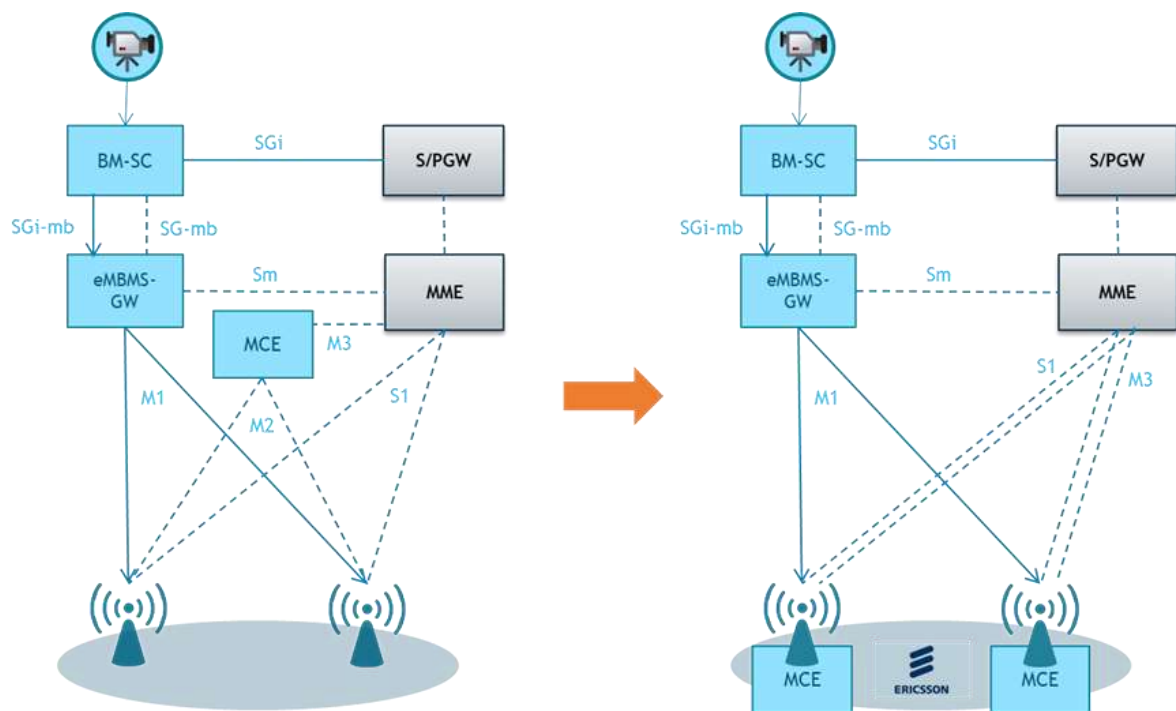


Figura 5-2: eMBMS con arquitectura MCE distribuida

Partiendo de la arquitectura tipo de eMBMS (Figura 2-13), la distribución de las MCE supone una simplificación arquitectural, tal como se puede ver en la Figura 5-2, convirtiendo la interfaz M2 en interacciones internas de la lógica de los eNodeBs, lo que elimina cualquier requerimiento de IoT entre el MCE y la red de acceso radio.

Ciertamente, cuando se estudie la generalización del servicio más allá del Wanda Metropolitano, en el caso de que los eNodeBs de Nokia no albergaran la MCE, obligaría a

disponer de ella en un elemento externo y tendríamos una diversidad arquitectural dependiendo de qué fabricante sea suministrador del acceso radio en cada entorno geográfico. Esto podría acarrear algún problema de homogeneidad del servicio, especialmente cuando se produzcan evoluciones en la Red, y sobrecostes en el mantenimiento, por lo que debe evitarse esta alternativa.

Pensando en facilitar esta primera implantación del servicio, optamos en esta etapa por la arquitectura MCE distribuida debido a su mayor sencillez operativa, puesto que contar con una interfaz menos entre elementos de la arquitectura ayudará con cualquier proceso de integración.

Potencialmente, al contar con un elemento menos, esta alternativa debería ser menos costosa, pero esa eficiencia debe ser verificada en el proceso de análisis financiero debido a que el fabricante pudiera tener preciada de forma incremental la habilitación de esa entidad a través de un modelo de licencias.

### 5.2.2 Selección de alternativas para el resto de los elementos eMBMS

La diversidad de fabricantes en el acceso radio y en el *core* nos lleva a plantear tres alternativas arquitecturales con diferente complejidad de integración, principalmente derivada de la necesaria interoperabilidad en varias interfaces de la solución.

La primera de las alternativas (Figura 5-3) contempla la incorporación de una plataforma eMBMS construida al 100% con elementos Ericsson, incluido un nuevo MME, adicional a los existentes en la Red, exclusivamente dedicado para este servicio y que, fundamentalmente, servirá para convertir los mensajes del interfaz Sm del eMBMS-GW en mensajes del interfaz M3 (entidad eMBMS-SC).

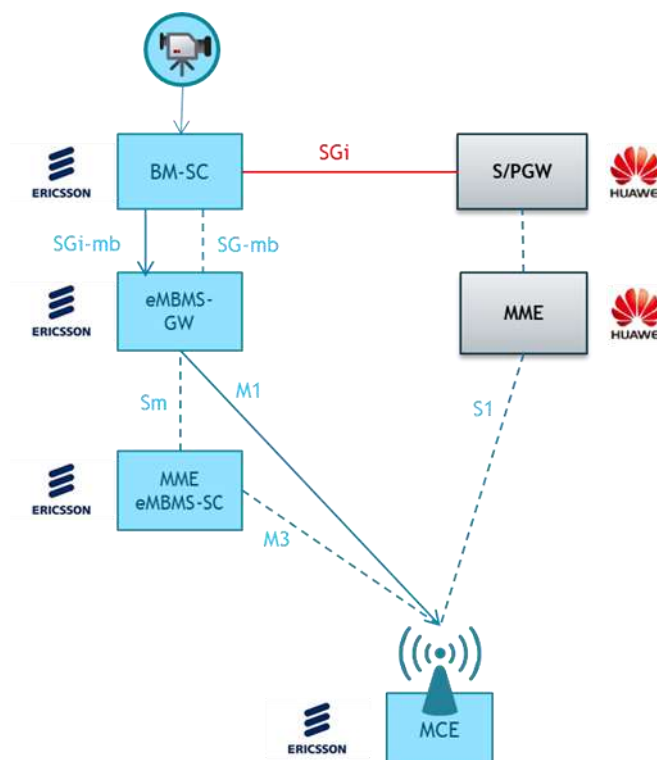


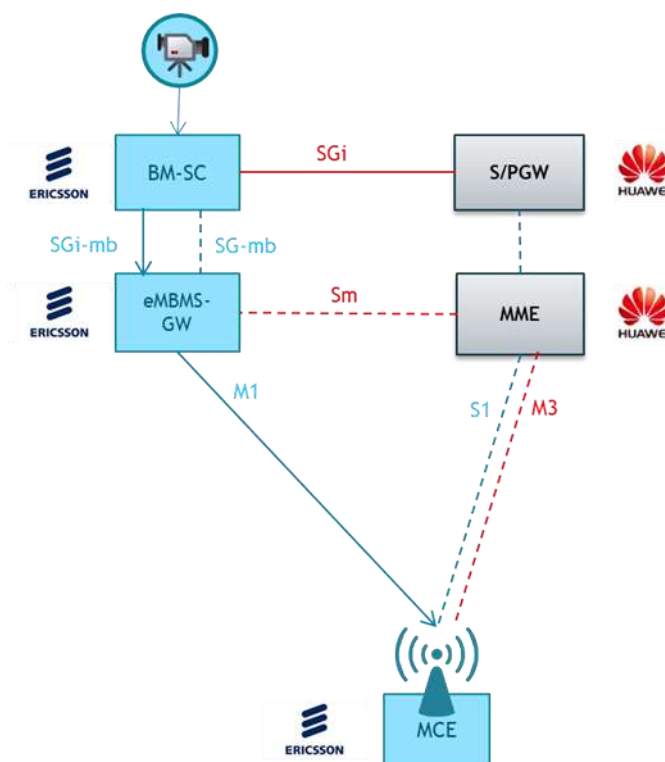
Figura 5-3: Arquitectura de la solución: alternativa 1; eMBMS y MME Ericsson

Una solución integrada extremo a extremo garantiza mejor, lógicamente, el funcionamiento, al reducir los puntos donde es necesaria la interoperabilidad, pero no los elimina totalmente. Para asegurar una perfecta integración con la Red actualmente desplegada, aún quedaría pendiente de IoT la interfaz en el punto de referencia SGi (control y datos entre p-GW y redes de datos externas), entre la nueva plataforma eMBMS de Ericsson y el EPC Huawei.

Este punto de interoperabilidad no es el que presenta más problemas pues, al fin y al cabo, es el mismo que se establece siempre que se integra una red móvil con cualquier servidor o red IP externa, situación muy habitual.

Sin embargo, esta solución presenta otra problemática de mayor impacto. Contar con un nuevo MME en la Red, de distinto fabricante que el resto de los actualmente disponibles, supone un proceso de integración en la gestión y explotación global, largo y costoso. Además, siempre que se incorpora un nuevo suministrador en la Red, se añade coste y complejidad al mantenimiento. Factores ambos que deben ser tenidos muy en cuenta cuando, como es el caso, el nuevo suministrador va a proporcionar elementos de red que ya están disponibles, suministrados por otro fabricante.

En la segunda alternativa (Figura 5-4), a diferencia de la primera, no se introduce un nuevo MME en la Red. Mientras que la plataforma eMBMS es de Ericsson, la función de control de sesiones eMBMS del MME (MME eMBMS-SC) la realiza el MME existente en la red actual, que está suministrado por Huawei.

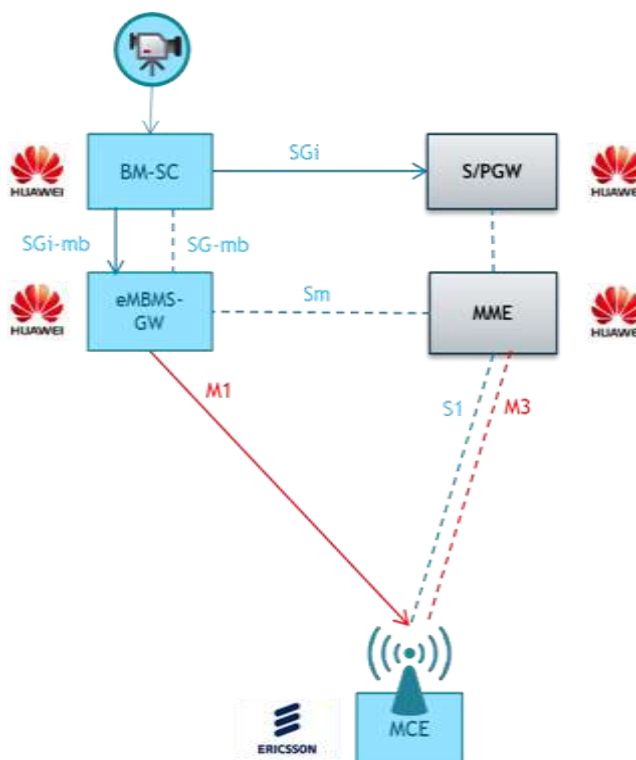


**Figura 5-4: Arquitectura de la solución: alternativa 2; eMBMS Ericsson**

En esta alternativa se han eliminado los impactos en la integración y el mantenimiento que presentaba la primera opción al incorporar un nuevo MME, pero se pierden los beneficios de disponer de una solución extremo a extremo del mismo fabricante: se incrementa el número de puntos de IoT.

Al desempeñar el MME de Huawei las funciones de control de sesiones (eMBMS-SC), se añade ahora un interfuncionamiento con la entidad lógica MCE desplegada en los eNodeBs, (aparece un nuevo punto de IoT en la interfaz M3), y otro con la entidad eMBMS-GW, (aparece un punto adicional de IoT en la interfaz Sm).

En la tercera alternativa (Figura 5-5) desplegamos la plataforma eMBMS construida 100% con elementos de Huawei.



**Figura 5-5: Arquitectura de la solución: alternativa 3; eMBMS Huawei**

Al igual que en la primera opción, disponer de una plataforma extremo a extremo de un mismo fabricante garantiza mejor el funcionamiento, puesto que el número de puntos de interoperabilidad disminuyen. Esto es aún más acusado cuando las partes de la solución con mayor interrelación, EPC y eMBMS, también son suministradas por un único *vendor*.

Sin embargo, las necesidades de interoperabilidad no disminuyen totalmente, simplemente cambian las interfaces donde debemos asegurarla. Así, en esta tercera opción, las interfaces afectadas son todas aquellas que involucran a los eNodeBs, suministrados por Ericsson, que no es quien proporciona el EPC y el eMBMS. En esta alternativa son dos los puntos de control donde debemos asegurar la IoT: M3, al igual que en la segunda alternativa, y M1, entre eMBMS-GW y MCE, desapareciendo la necesidad en todos los que interrelacionan EPC y eMBMS. En otras palabras: la interoperabilidad se reduce a las relaciones con los eNodeBs, donde se ubica la entidad MCE.

A la hora de decidir por una de las tres alternativas, incorporaremos un elemento adicional: la posibilidad futura de extender el servicio a zonas geográficas con cobertura radio proporcionada por eNodeBs de Nokia<sup>9</sup>.

En este caso, el análisis de la alternativa 1 empeora debido a que desaparece la solución extremo a extremo por incorporar un segundo fabricante de radio. Así, se añaden a las interfaces donde debe existir IoT el punto de control M3, entre eMBMS-SC y MCE (ahora Nokia), que ya aparece en la alternativa 2, y el punto de control M1, entre eMBMS-GW y MCE (Nokia), que aparece en la alternativa 3.

Evidentemente, la futura extensión del servicio desposiciona totalmente esta alternativa, por lo que, junto con los fuertes impactos en integración y mantenimiento de la Red, nos lleva a descartarla.

Lo mismo ocurre con la alternativa 2, que ya de por sí era la que más puntos de IoT presentaba. Al incorporar la radio de Nokia, aparecen dos nuevas interfaces en los puntos de control M1 y M3.

En la alternativa 3 se mantienen las interfaces sujetas a IoT, bien es cierto que al duplicar los fabricantes del acceso radio, también se duplica la necesidad de pruebas y acuerdos.

Esta tercera opción

- presenta el menor número de interfaces donde asegurar la IoT y todos en relación con la entidad MCE, en los eNodeBs;
- ofrece mayor homogeneidad entre los elementos de la plataforma y el EPC con el que interactuará para proporcionar el servicio, lo que facilitará las labores de integración, gestión y mantenimiento; y
- no aumenta el número de fabricantes en el *core* de la Red, evitando el incremento de costes de evolución y mantenimiento.

Evidentemente es la candidata para la selección.

Adicionalmente, se ha sometido esta solución a protocolos de pruebas en dos entornos:

- uno en laboratorio y
- otro en planta real, en un entorno controlado

En ambos, se pudo comprobar que presentaba un comportamiento satisfactorio y permitía la prestación de un servicio equivalente al definido en este Trabajo.

### **5.3 Bandas de frecuencias usadas en el servicio**

El Operador dispone de espectro licenciado en varias bandas de frecuencias (Tabla 5-1).

Para el servicio que hemos definido, por los requisitos de velocidad de descarga que impone un *streaming* de video con calidad, solamente tiene aplicación lo referente a LTE, que en estos momentos está desplegado sobre las bandas de 800 MHz, 1800 MHz y 2600 MHz.

Las bandas planificadas para dar capacidad son las más altas y es donde, además, se dispone de un mayor ancho de banda (20 MHz). Por otra parte, el Wanda Metropolitano no tiene cobertura en banda de 800 MHz (apartado 4.2.3).

---

<sup>9</sup> Por razones de homogeneidad de la solución, al incorporar a Nokia, se optará por una misma arquitectura MCE distribuida, común con las zonas con cobertura de radio Ericsson.

	Cobertura		Capacidad		
	800 MHz	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz	2600 MHz
2G		5 MHz	10-5-0 MHz		
3G		9,8 MHz		20 MHz	
4G (LTE)	10 MHz		10-15-20MHz		20 MHz
TOTAL	10 MHz	14,8 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz

Tabla 5-1: Uso del espectro licenciado

En resumen, para la implementación del LTE *broadcast* solamente se podrán utilizar las bandas de 1.800 MHz y de 2.600 MHz, preferiblemente la de 1800 MHz porque, al ser más baja, propagará mejor y dará más cobertura.

Como en las dos hay un ancho de banda de canal de 20 MHz, se tienen disponibles 100 RBs (*Resource Blocks*) por trama (ver Tabla 5-1) [5].

En ambas bandas se radia con un esquema MIMO 2x2, garantizando un RSRP mayor que - 90 dBm en el 95% de los casos y una SINR >18 dB en el centro de las células (apartado 4.2.3).

Ancho de banda del canal $BW_{\text{Channel}}$ [MHz]	1,4	3	5	10	15	20
Configuración del ancho de banda de transmisión $N_{\text{RB}}$ (Nº de RBs)	6	15	25	50	75	100

Tabla 5-2: Configuración del ancho de banda de transmisión ( $N_{\text{RB}}$ ) para diferentes anchos de banda de canal ( $BW_{\text{Channel}}$ )

La relación entre el ancho de banda de canal ( $BW_{\text{Channel}}$ ) y el número de RBs viene definida en la Figura 5-6: Relación entre el ancho de banda del canal ( $BW_{\text{Channel}}$ ) y la configuración del ancho de banda de transmisión , de acuerdo con la especificación técnica 3GPP TS 36.101 [5].

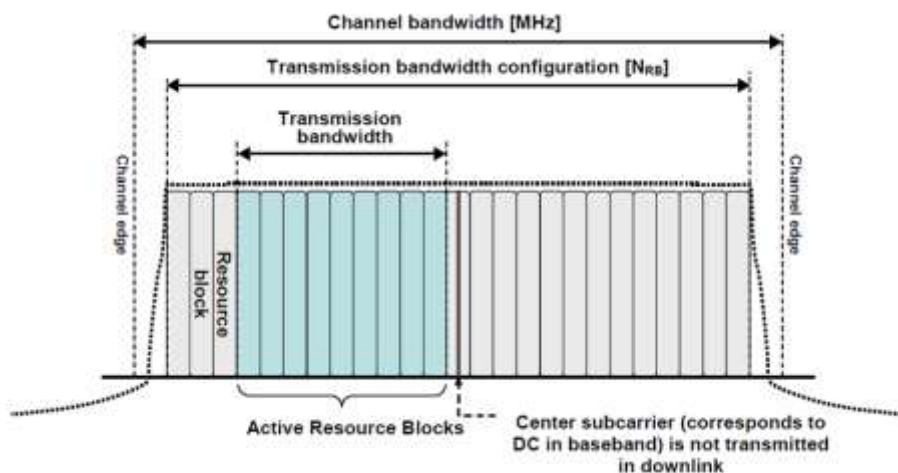


Figura 5-6: Relación entre el ancho de banda del canal ( $BW_{\text{Channel}}$ ) y la configuración del ancho de banda de transmisión ( $N_{\text{RB}}$ )



## 5.4 Dimensionado de la interfaz radio

El proceso de dimensionado pretende calcular un conjunto de parámetros que aseguren una calidad deseada, concretada en un determinado *bitrate*.

Para el servicio objeto de este Trabajo los parámetros que deben calcularse son:

- La configuración MCS (*Modulation and Coding Scheme*)
- La configuración FEC (*Forward Error Correction*)
- El número de subtramas a utilizar en cada trama

El *bitrate* necesario se configurará especificando en los sistemas de gestión el MCS y el número de subtramas calculado.

Por MCS se entiende una combinación permitida de la tasa de codificación de canal y la modulación utilizada [20]. La Tabla 5-3 Figura 1-1 muestra algunas de estas combinaciones.

MCS	Modulación	Orden de la modulación	Tasa de codificación
0			
1	QPSK	2	0.17
2	QPSK	2	0.23
3	QPSK	2	0.29
4	QPSK	2	0.36
5	QPSK	2	0.45
6	QPSK	2	0.55
7	QPSK	2	0.64
8	16QAM	4	0.5
9	16QAM	4	0.55
10	16QAM	4	0.62
11	16QAM	4	0.72
12	16QAM	4	0.8
13	64QAM	6	0.64
14	64QAM	6	0.68
15	64QAM	6	0.76
16	64QAM	6	0.82
17	64QAM	6	0.91

**Tabla 5-3: Modulación y tasa de codificación asociadas a cada MCS**

La calidad siempre será un compromiso entre tres factores: cobertura, capacidad y, por supuesto, la propia calidad percibida por el usuario, que es determinante en las transmisiones de vídeo como la que es objeto de este Trabajo.

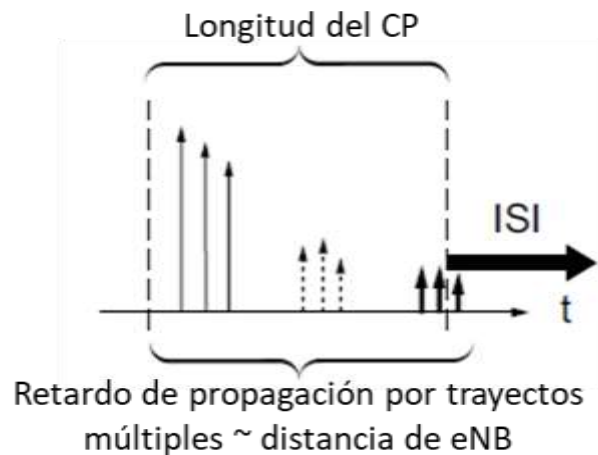
La Relación de Señal a Interferencia y Ruido (SINR, *Signal to Interference and Noise Ratio*) que se utilice para el dimensionado proporcionará un mecanismo para balancear los dos primeros: cobertura y capacidad. La corrección de errores provista por la configuración del FEC determinará el tercero.

eMBMS utiliza una configuración MBSFN (*Multicast-Broadcast Single Frequency Network*). Las áreas MBFSN se configuran estáticamente.

Dentro de un área MBFSN, la señal eMBMS se transmite de forma síncrona desde todas las células. Los enlaces de radio aparecen en la recepción como una señal de múltiples rutas de una sola forma de onda. Dado que todas las estaciones base transmiten la misma información síncronamente en las mismas frecuencias, no hay interferencia entre células en el área MBFSN.

Si el área es grande, tampoco hay interferencia del tráfico punto a punto<sup>10</sup> fuera de ella.

Y si la dispersión del retardo de propagación por trayectos múltiples se mantiene dentro del Prefijo Cíclico OFDM (CP<sup>11</sup>, *Cyclic Prefix*), tampoco aparece ninguna Interferencia entre Símbolos (ISI, *Inter-Symbol Interference*).



**Figura 5-7: Impacto del retardo de propagación por trayectos múltiples en el ISI**

Con estas asunciones, en el dimensionado del eMBMS se va a aproximar la SINR con la Relación de Señal a Ruido (SNR, *Signal to Noise Ratio*).

El proceso de dimensionado lo estableceremos en cinco pasos:

1. Cálculo de la SNR en el borde de las células
2. Cálculo del máximo MCS para la SNR dada
3. Determinación del FEC
4. Cálculo de los *overheads* derivados de la pila de protocolos envueltos en la comunicación
5. Cálculo del número de subtramas que se necesitan para soportar el *bitrate* requerido, más el FEC y más los *overheads* calculados

### 5.4.1 Cálculo de la SNR

La SNR se calcula como:

$$SNR = \frac{RSRP}{N}$$

<sup>10</sup> Comunicación entre dos puntos finales únicos e identificados.

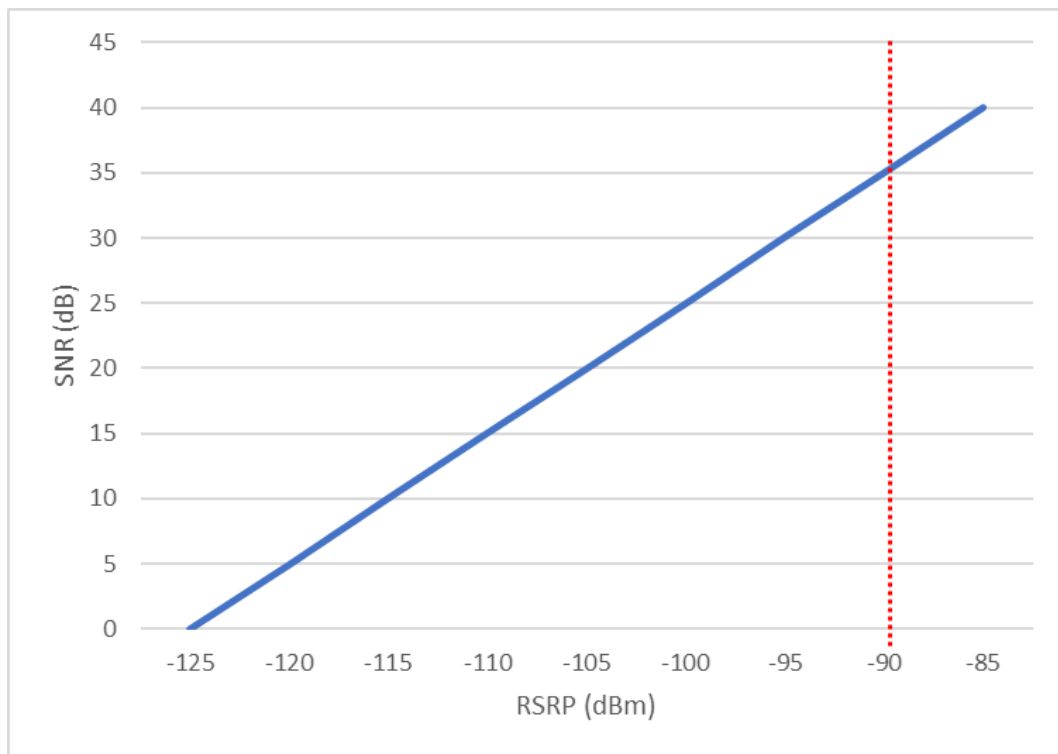
<sup>11</sup> En eMBMS se utiliza un CP extendido

Donde *RSRP* es la medida de la Potencia Recibida de la Señal de Referencia y *N* la Potencia del Ruido Térmico en un RE (*Resource Element*, subportadora de 15 KHz).

Así, para un factor de ruido de 7 dB y para una temperatura ambiente media de 17 °C (290 °K)

$$N = -174 \text{ dBm}^{12} + 7 \text{ dB} + 10 \log (15.000 \text{ Hz}) = -125,2 \text{ dBm}$$

Lo que, para la relación entre *SNR* y *RSRP*, proporciona la curva ideal que se muestra en la Figura 5-8, donde se puede ver el límite superior al *SNR* para un cierto *RSRP*.



**Figura 5-8: SNR vs. RSRP**

Las condiciones de diseño del Metropolitano garantizan una *SINR* > 18 dB en el centro de las células, donde se producen las mejores prestaciones. Como en los servicios de vídeo se debe garantizar la misma calidad en cualquier punto de la cobertura, para el dimensionado de los recursos radio destinados al broadcast, en lugar de ese valor, es preciso usar uno correspondiente al caso peor: el que tendríamos en el borde de la célula.

Usando los criterios de ingeniería simples, obtenidos de medidas realizadas en entorno real, que se reflejan en la Tabla 5-4, las buenas condiciones de radiofrecuencia (*RSRP* > -90 dBm) del estadio Wanda Metropolitano, llevan a tomar una *SINR* de 13 dB para el borde de la célula (peor caso), lo que, realmente, no difiere mucho de los 18 dB que establecían los criterios de diseño.

<sup>12</sup> Potencia de ruido térmico  $N_0$  a una temperatura ambiente de 17 °C y para una frecuencia de 1Hz

Condiciones Radiofrecuencia	RSRP (dbM)	SINR (dB)
Excelentes	$\geq -80$	$\geq 20$
Buenas	entre -80 y -90	entre 13 y 20
Mitad de la celda	entre -90 y -100	entre 0 y 13
Borde de la celda	$\leq -100$	$\leq 0$

**Tabla 5-4: : SINR vs. RSRP en distintas condiciones de radiofrecuencia**

Como ya se ha dicho en el apartado 5.4, por la ausencia de interferencias de eMBMS, podemos aproximar SINR y SNR

$$SNR > 13 \text{ dB}$$

### 5.4.2 Cálculo del MCS

El objetivo es garantizar la misma cobertura que los servicios punto a punto, o una cobertura en una relación conocida con ellos. Por tanto, el MCS elegido deberá proporcionar un cierto rendimiento para una determinada SNR (incluida la ganancia por macrodiversidad, Figura 2-12) en el borde de la célula.

El rendimiento de las transmisiones de eMBMS ha sido determinado por simulaciones en forma de relaciones entre el *bitrate* de la capa 2 y la SNR. Las simulaciones cubren todos los MCS entre 0 y 18, y se han realizado para el perfil de retardo multitrayecto ("modelo de canal") MBSFN especificado en 3GPP TS 36.101 App B, a 5, 70 y 300 Hz de dispersión Doppler [5]. Este modelo también ha sido diseñado para simular las propiedades de macrodiversidad de eMBMS.

Para determinar el MCS se hace uso de la Tabla 5-5, que recoge los resultados de esas simulaciones. Esta tabla muestra, para todos los MCS, la SNR para un BLER (*Block Error Rate*) del 2%, valor que, de acuerdo con las simulaciones, proporciona el consumo de recursos más eficiente. El BLER (o  $p_{BLER}$ ) se calcula como

$$p_{BLER} = 1 - \frac{R_{rec}}{R_{max}}$$

donde  $R_{rec}$  es el *bitrate* recibido y  $R_{max}$  el *bitrate* de pico para un MCS determinado.

De la tabla, para un modelo de canal MBSFN de 5 Hz y un  $p_{BLER}$  del 2%, con la SNR calculada en el apartado 5.4.1, obtenemos

$$MCS = 14$$

MCS	Peak Bitrate per RB and Subframe $R_{max}$ [kbps]	SNR [dB] for MBSFN 5 Hz	SNR [dB] for MBSFN 70Hz	SNR [dB] for MBSFN 300 Hz
0	2.45	1.0	1.4	1.5
1	3.20	1.6	2.0	2.3
2	3.95	2.3	2.8	3.0
3	5.10	3.2	3.7	4.0
4	6.48	4.2	4.7	4.9
5	7.86	5.3	5.9	6.0
6	9.24	6.5	6.9	7.1
7	11.12	8.3	8.8	9.5
8	12.50	9.5	10.0	10.9
9	14.34	11.4	12.0	13.0
10	14.34	11.4	12.0	13.0
11	15.72	11.4	12.0	13.0
12	17.80	9.1	9.8	11.8
13	20.56	10.9	11.9	23.0
14	23.28	14.8	16.5	>35.0
15	25.36	>35.0	>35.0	>35.0

Tabla 5-5: SNR vs. MCS con  $p_{BLER} = 2\%$

### 5.4.3 3. Determinación del FEC

Dado que la transmisión en eMBMS es unidireccional, no hay información de retorno que posibilite implementar mecanismos de corrección en los niveles bajos de la torre de protocolos.

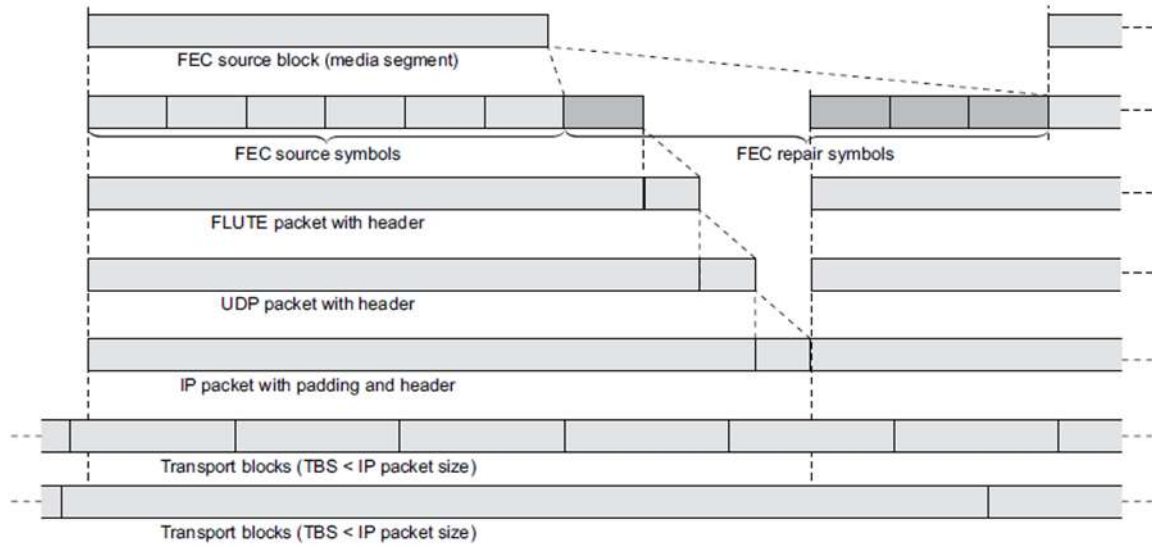
Por esta razón se usa un esquema FEC Raptor 10 [8] implementado en el nivel de servicio para detectar y corregir los paquetes recibidos incorrectamente por fallos de bloques de transporte en el nivel 2. Este esquema consiste en dividir cada flujo de datos en segmentos (bloques) y estos, a su vez, en un conjunto de símbolos, a los que el FEC añade algunos más de redundancia, en número suficiente para facilitar la reparación cuando la recepción de uno o varios de los del bloque original haya fallado.

El objetivo del dimensionado es encontrar el número de símbolos de reparación con los que configurar la función FEC para obtener una tasa de error de segmento ( $p_{SER}$ , *Source block Error Rate*, SER) dada.

#### Tasa de error de paquete ( $p_{PER}$ )

Al configurarse estáticamente el MCS, el tamaño de los bloques de transporte en el nivel 2 (RLC) queda fijo, lo que provoca una desincronización con los niveles superiores (Figura

5-9), de tal forma que la pérdida de un bloque de nivel 2 puede provocar errores en varios paquetes en el nivel IP<sup>13</sup>, en función del tamaño del bloque de transporte ( $S_{TB}$ ) y el tamaño del paquete IP ( $S_{IP}$ ).



**Figura 5-9: Alineamiento de protocolos eMBMS**

La tasa de error de paquete ( $p_{PER}$ ) debida a la propagación de la tasa de error de nivel 2 ( $p_{BLER}$ ) viene dada por las siguientes fórmulas

$$S_{TB} > S_{IP}: \quad p_{PER} = p_{BLER} \left( \frac{S_{IP}}{S_{TB}} + 1 \right)$$

$$S_{TB} < S_{IP}: \quad p_{PER} = 1 - (1 - p_{BLER}) \left[ \left( \left\lceil \frac{S_{IP}}{S_{TB}} \right\rceil - \frac{S_{IP}}{S_{TB}} \right) p_{BLER} + 1 - p_{BLER} \right]$$

El tamaño del bloque de transporte ( $S_{TB}$ ) se aproxima en función del *bitrate* pico ( $R_{max}$ ) obtenido de la Tabla 5-5 (en Kbps/RB/subtrama), del número de Bloques de Recursos ( $N_{RB}$ ), de la longitud de la trama ( $t_{TTI}$ ) y de un factor ( $f$ ).

$$S_{TB} = f R_{max} N_{RB} t_{TTI}$$

donde

$$t_{TTI} = 10 \text{ ms (Figura 2-6)}$$

$$N_{RB} = 100 \text{ (Tabla 5-2)}$$

$$R_{max} = 23,28 \text{ Kbps (Tabla 5-5)}$$

$$f = 1,118^{14}$$

Con lo que el tamaño del bloque de transporte ( $S_{TB}$ ) será

$$S_{TB} = 1,118 \times \frac{23,28 \times 1000}{8} \times 100 \times 0,01 = 3253 \text{ bytes}$$

Este valor es mayor que  $S_{IP}$  ( $= 1400 \text{ bytes}$ ), por lo que la tasa de error de paquete ( $p_{PER}$ ) será

<sup>13</sup> Esta desincronía solo se produce por el nivel 2, todos los niveles por encima de él están alineados.

<sup>14</sup> Valor calculado que reproduce fielmente el tamaño de los bloques de transporte 3GPP

$$p_{PER} = 2\% \times \left( \frac{1400}{3253} + 1 \right) = 2,86\%$$

#### Tasa de error de segmento ( $p_{SER}$ )

Si un segmento se pierde, la imagen se congela hasta que se recibe el siguiente segmento.

Para calcular la tasa de error de segmento ( $p_{SER}$ ) con la que se va a trabajar, hay que definir qué valores se van a tolerar para el tiempo de congelado máximo ( $t_s$ ), que es el tiempo de duración de un segmento, y el tiempo medio entre sucesos de congelación de la imagen ( $t_e$ ).

$$p_{SER} = \frac{t_s}{t_e}$$

Ambos valores son precondiciones que configuran la percepción de calidad por parte de los usuarios. En el servicio definido en este Trabajo se va a trabajar con una congelación menor a 1s cada 15 min de media.

$$t_s = 1 \text{ s} \quad t_e = 15 \text{ min}$$

$$p_{SER} = \frac{1}{(15 \times 60)} = 0,11\%$$

#### Tasa de error de símbolo ( $p_s$ )

Dado que un paquete IP contiene un número entero de símbolos igual o mayor que uno (Figura 5-9), la tasa de error de símbolo ( $p_s$ ) es igual que la tasa de error de paquete ( $p_{PER}$ ).

$$p_s = p_{PER}$$

#### Número de símbolos FEC de reparación ( $n_{rep}$ )

El tiempo de duración del segmento ( $t_s$ ) junto con el *bitrate* necesario para transmitir todos los servicios eMBMS ( $R_s$ ) (Tabla 5-6) determinarán en tamaño del segmento ( $S_m$ ).

$$S_m = R_s t_s$$

El servicio propuesto, con 4 canales SD y 4 PiP y con un esquema de codificación H.265 necesitará un *bitrate* de 3.880 Kbps (Ver Tabla 5-6).

		Canales SD	Canales PiP
Nº		4	4
Tasa (Kbps)	Video	780	150
	Audio	40	0
Tasa necesaria (Kbps)		3.280	600
Tasa total (Kbps) - <i>bitrate</i>		3.880	

Tabla 5-6: *Bitrate* requerido por el servicio (codificación H.265)

Por lo que

$$S_m = (3880/8) \times 1 = 485 \text{ KBytes}$$

El tamaño del paquete FLUTE es igual al tamaño de los datos (*payload*) IP ( $S_{IP}$ ) menos las cabeceras FLUTE ( $O_{FLUTE}$ ) y UDP ( $O_{UDP}$ )<sup>15</sup>.

$$S_{FLUTE} = S_{IP} - O_{FLUTE} - O_{UDP}$$

Siendo todos estos valores conocidos, se obtiene

$$S_{FLUTE} = 1400 - 16 - 8 = 1376 \text{ bytes}$$

El tamaño del símbolo ( $S_s$ ) se dimensiona en función de un número deseado de símbolos por segmento de (alrededor de) 1000. El tamaño de símbolo máximo viene dado por el tamaño del paquete IP (menos cabeceras FLUTE y UDP). El tamaño de símbolo mínimo permitido viene dado por el número máximo de símbolos por paquete IP, que es 12.

$$S_s = \max \left[ \min \left( \frac{S_m}{1000}, S_{FLUTE} \right), \frac{S_{FLUTE}}{12} \right]$$

$$S_s = \max \left[ \min \left( \frac{485 \times 1000}{1000}, 1376 \right), \frac{1376}{12} \right] = \max[485, 115] = 485 \text{ bytes}$$

El número de símbolos por paquete ( $n_s$ ) se calcula como la proporción entre el tamaño del paquete FLUTE ( $S_{FLUTE}$ ) y el tamaño del símbolo ( $S_s$ ), con un valor mínimo de 12

$$n_s = \max \left( 12, \text{int} \left( \frac{S_{FLUTE}}{S_s} \right) \right)$$

$$n_s = \max \left( 12, \text{int} \left( \frac{1376}{485} \right) \right) = \max(12, 3) = 12$$

El número original de símbolos por segmento ( $k$ ) es igual a la relación entre el tamaño total del segmento ( $S_m$ ) y el tamaño del símbolo ( $S_s$ )

$$k = \left\lceil \frac{S_m}{S_s} \right\rceil$$

$$k = \left\lceil \frac{485 \times 1000}{485} \right\rceil = 1000$$

A estos  $k$  símbolos originales se le añaden un conjunto de símbolos de reparación, dando lugar a un total de  $n$  símbolos por segmento. El número de símbolos de reparación dependerá de la tasa de error de símbolos ( $p_s$ ), que, como se ha dicho, es igual a la tasa de error de paquetes ( $p_{PER}$ ).

El valor del número final de símbolos ( $n$ ) en función del número original ( $k$ ), para cada tasa de error de segmento ( $p_{SER}$ ) y cada tasa de error de símbolos ( $p_s = p_{PER}$ ), viene dada por una función lineal con 3 coeficientes

$$n = \text{int}(Sk + In_s + K) + 1$$

Esta función es resultado de cálculos teóricos realizados para la codificación Raptor 10 FEC, suponiendo que los errores de paquete son independientes entre todos los paquetes que comprenden un segmento y utilizando una expresión para el rendimiento de FEC obtenida de publicaciones. Los valores de  $S$ ,  $I$  y  $K$  vienen tabulados en la Tabla 5-7.

---

<sup>15</sup> El tamaño del paquete UDP es igual al tamaño *payload* IP ( $S_{IP}$ ) menos la cabecera UDP ( $O_{UDP}$ ):

$$S_{UDP} = S_{IP} - O_{UDP} = 1400 - 8 = 1392 \text{ bytes}$$



	$p_{SER} = 1\%$			$p_{SER} = 0.1\%$			$p_{SER} = 0.01\%$		
$p_{PER}$	$S$	$I$	$K$	$S$	$I$	$K$	$S$	$I$	$K$
25%	1.44	4.40	33.1	1.47	6.91	42.9	1.50	9.14	51.7
20%	1.33	3.52	28.3	1.37	5.60	37.3	1.39	7.60	44.1
15%	1.26	2.79	23.0	1.27	4.59	30.3	1.29	6.20	36.3
10%	1.16	2.00	18.6	1.19	3.41	24.6	1.12	4.80	28.9
5%	1.09	1.14	13.3	1.10	2.18	18.0	1.12	3.13	21.9
2%	1.04	0.449	9.93	1.05	1.21	13.2	1.06	1.98	15.7

**Tabla 5-7: Coeficientes de dependencia de FEC  $n$  respecto de  $k$ , para codificación Raptor 10**

Dado que se han calculado unos valores de

$$p_{SER} = 0,11\% \quad y$$

$$p_{PER} = 2,86\%$$

en la Tabla 5-7 se toman los valores de  $S$ ,  $I$  y  $K$  correspondientes a  $p_{SER} = 0,1\%$  y  $p_{SER} = 5\%$

$$S = 1,10 \quad I = 2,18 \quad K = 18,0$$

y se calcula valor del número final de símbolos ( $n$ )

$$n = \text{int}((1,10 \times 1000) + (2,18 \times 12) + 18) + 1 = 1145$$

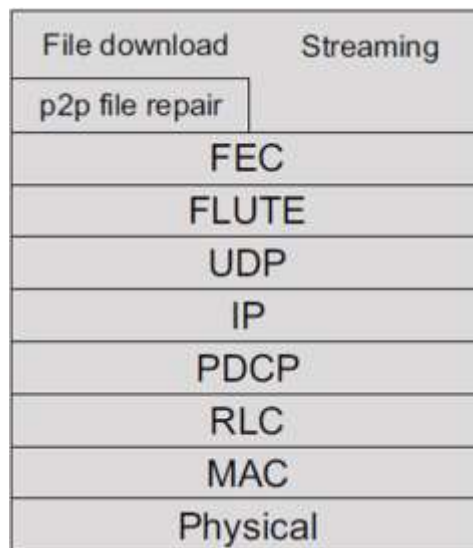
y, por tanto, el número de símbolos de reparación FEC por cada segmento es de

$$n_{rep} = n - k$$

$$n_{rep} = 145$$

#### 5.4.4 4. Cálculo de *overheads*

La torre de protocolos para eMBMS es la mostrada en la Figura 5-10



**Figura 5-10: Torre de protocolos de eMBMS**

Todos los protocolos por encima del nivel físico introducirán un *overhead*. El cálculo para cada uno de ellos es el siguiente:

- FEC ( $O_{FEC}$ ): el *overhead* es el dado por los símbolos de reparación introducidos por cada bloque fuente

$$O_{FEC} = \frac{n}{k} - 1$$

- FLUTE ( $O_{FLUTE}$ ): 16 bytes por paquete FLUTE

$$O_{FLUTE} = \frac{16}{S_{FLUTE}}$$

- UDP ( $O_{UDP}$ ): 8 bytes por paquete UDP

$$O_{UDP} = \frac{8}{S_{UDP}}$$

- IP ( $O_{IP}$ ): 20 bytes por paquete IPv4.

$$O_{IP} = \frac{20}{S_{IP}}$$

- RLC/MAC: Un valor típico es del orden o inferior al 2%.

$$O_{RLC} = 2\%$$

El *overhead* total viene dado por la fórmula

$$O_{TOT} = (1 + O_{RLC})(1 + O_{IP})(1 + O_{UDP})(1 + O_{FLUTE})(1 + O_{FEC}) - 1$$

Aplicando los valores obtenidos hasta ahora:

$$O_{TOT} = (1,020)(1,014)(1,006)(1,012)(1,145) - 1$$

$$O_{TOT} = 20,52\%$$

#### 5.4.5 5. Cálculo del ancho de banda necesario (nº de subtramas)

Como se ha visto en la Tabla 5-6 el servicio propuesto necesitará un *bitrate* de 3.880 Kbps, al que hay que añadir el *overhead* calculado para toda la pila de protocolos, lo que hace un total de

$$bitrate\ total = R_s \times (1 + O_{TOT})$$

$$bitrate\ total = 3880 \times (1 + 20,52\%) = 4676\ Kbps$$

Como disponemos de 100 RBs (apartado 5.3), se necesitan

$$bitrate\ por\ cada\ RB = (bitrate\ total / N_{RB})$$

$$bitrate\ por\ cada\ RB = 4676/100 = 46,76\ Kbps$$

De la Tabla 5-5, para un MCS de 14 tenemos una velocidad de pico por RB de

$$R_{max} = 23,28\ Kbps$$

Y, finalmente, obtenemos el número de subtramas que hay que utilizar para asegurar el *bitrate* necesario para proporcionar el servicio con la calidad deseada

$$n^{\circ} \text{ de subtramas} = \frac{\text{bitrate por cada RB}}{R_{max}}$$

$n^{\circ} \text{ de subtramas} = 2,01$
---

Este valor debe ser un entero y habitualmente se redondearía por exceso, pero dado que la parte no entera del valor es despreciable, bastará con usar 2 subtramas.

Disponer de 2 subtramas para *broadcast* supone dedicar un 20% de la capacidad total<sup>16</sup>, en detrimento de las comunicaciones *unicast*.

Esta pérdida de capacidad no va a afectar a las prestaciones globales de la red. En un entorno geográfico reducido, como es el caso de un estadio de fútbol, el que los terminales móviles reciban parte del tráfico en modo *broadcast* supone que esos mismos terminales no están haciendo uso de los recursos que la misma red estaría destinando al *unicast*, con alta probabilidad para disfrutar de contenidos similares. En otras palabras: se está haciendo un *offload* del tráfico de vídeo, el más pesado para tratar por la red móvil.

Adicionalmente, hay que reiterar que el servicio se presta en un ámbito geográfico reducido y durante un tiempo limitado (la duración de un evento futbolístico), restaurándose más tarde las condiciones y configuración habituales de la red. Esto disminuye aún más, si cabe, cualquier riesgo de impacto en las prestaciones.

## 5.5 Otros elementos del servicio

Además del diseño realizado, hay otros factores imprescindibles para poder prestar el servicio definido y que, a su vez, necesitan de un análisis en cuanto a su viabilidad.

Aunque este análisis queda fuera del *scope* de este Trabajo, al menos dejaremos enunciados en este apartado cuales son las pautas de análisis o desarrollo que se deben llevar a cabo.

### 5.5.1 Equipos de cliente

Evidentemente, la disponibilidad de equipos de cliente que soporten eMBMS es imprescindible para que el servicio llegue a los clientes.

La dinámica del mercado de terminales, con una gran variedad de fabricantes y precios, hace que la disparidad en cuanto prestaciones sea enorme. Por esta razón encontraremos que no todos los terminales móviles que se encuentran en el mercado se corresponden con el mismo nivel de evolución de los estándares (diferentes *Releases*) ni siquiera, estando igualados en la estandarización, soportan las mismas *features* contenidas en la *Release*.

De ahí la importancia de verificar en qué porcentaje la planta actual de terminales móviles soporta eMBMS y de imponer este soporte como requisito para los nuevos modelos de gama media y alta a comercializar en el futuro cercano.

La GSA (*Global mobile Suppliers Association*) proporciona un listado de terminales que pudiera servir de referencia (Anexo A). El mismo recoge un amplio listado de equipos que han sido usados en demostraciones o pruebas de concepto, han sido identificados por los fabricantes como compatibles con el estándar eMBMS, han sido certificados con un *middleware* eMBMS o ya son comercialmente compatibles con el estándar.

---

<sup>16</sup> Cada trama LTE-FDD tiene 10 subtramas (apartado 2.1.3.1)

Este listado puede servir de ayuda, pero no es un filtro que valide la disponibilidad en el mercado español. Es útil verificar si los terminales comercializados se encuentran en la lista de la GSA, pero es imprescindible saber si tienen habilitadas las funcionalidades necesarias y si su funcionamiento se corresponde con el esperado. En otras palabras: se necesita la certificación del fabricante de estos equipos y un protocolo de pruebas en los laboratorios del Operador.

Como toma de primeras impresiones, no válido como análisis de mercado, se realizó un estudio limitado de la planta con los siguientes resultados:

- Equipos que potencialmente soportaban eMBMS, pero que necesitarán probablemente la habilitación de la funcionalidad por parte del fabricante:
  - Alcatel One Touch
  - BQ Aquarius M5
  - LG G3 (si hay demanda, también el G4)
  - Samsung: T550, N910F, N9005, G900F, A500FU, A300FU, G530F, G360F, G925F y G920F
- Equipos que no soportaban eMBMS pero que podrían hacerlo en el corto plazo, especialmente si hay demanda por parte del Operador:
  - Sony: incorpora *chipsets* capaces de soportarlo (Qualcomm)
  - Apple dice soportarlo en función de la demanda comercial
  - Huawei: había previsión de soportarlo sobre el P8, pero no se ha podido verificar

Como colofón, resaltar que, por un lado, más allá del diseño de la solución, los equipos móviles son un elemento crítico a la hora de evaluar la comercialización del servicio y el momento en que hacerlo, y por otro, todo el proceso de análisis y validación no dejará de ser una instantánea dentro un escenario en movimiento: la evolución tecnológica acelerada de los terminales y la renovación de los mismos por parte de los clientes hace que esta fase sea solo una etapa dentro de un proceso recurrente.

### **5.5.2 Aplicaciones para los terminales móviles**

Al final, que el servicio sea atractivo para los clientes y que pueda cumplir con la función generadora de ingresos para el que ha sido diseñado, depende de tres elementos: los contenidos, la calidad del servicio y el interfaz de usuario.

El servicio, tal como se ha descrito, proporciona unos contenidos que se han validado como atractivos para una capa amplia de población.

El diseño de la solución, desde la cobertura del estadio hasta la arquitectura y planificación de recursos radio, garantiza la calidad.

Para poder completar el ciclo, es necesario el diseño de una App (aplicación) para sistemas operativos Android e iOS (prioritariamente el primero por su mayor volumen de terminales móviles en el mercado) que permita presentar los canales SD y los PiP, conmutar entre ellos a voluntad del usuario, que los combine en pantalla con informaciones procedentes de Internet, mejorando la experiencia, etc.

En resumen, habrá que desarrollar una aplicación, la cual será quien finalmente contribuya al éxito comercial del servicio.

## 6 Conclusiones y trabajo futuro

---

### 6.1 Conclusiones

Los Operadores que invierten en redes de telecomunicaciones están buscando vías para asegurar la rentabilidad con la generación de nuevos ingresos procedentes de servicios de valor añadido o de nuevos modos de comunicación, sin que sea preciso realizar incrementos sustanciales de inversión. Este Trabajo Fin de Grado se enmarca en ese esfuerzo.

En él se ha identificado un potencial servicio basado en la distribución de señales de TV en modo *broadcast*, apoyándose en el ancho de banda proporcionado por la tecnología LTE y en la potencialidad que le aporta la funcionalidad eMBMS. Servicio consistente en la distribución, durante la celebración de los partidos, de 8 canales de TV con imágenes captadas desde diferentes cámaras del estadio.

Se ha seleccionado un estadio de fútbol donde, por sus características de cobertura radio, fuera favorable un primer despliegue del servicio.

Se ha definido la arquitectura soporte del servicio, teniendo en cuenta la configuración actual de la Red del Operador, y aplicando criterios de sencillez y eficiencia, donde se ha primado la viabilidad del servicio a corto plazo y que la solución propuesta pueda extenderse a otros estadios, otros entornos geográficos y otros servicios basados en LTE-eMBMS.

Se ha dimensionado la interfaz radio, definiendo todos los parámetros de configuración necesarios para una correcta provisión del servicio con calidad, minimizando el impacto en el resto de las comunicaciones soportadas en la Red que da servicio al propio estadio.

Y, finalmente, se han identificado otros aspectos que, más allá del ámbito de este Trabajo, centrado en aspectos de Red, habría que abordar para la prestación del servicio.

Es habitual pensar que los grandes flujos de ingresos de las empresas tecnológicas se fundamenten, exclusivamente, en servicios prestados desde las plataformas *Over The Top* (OTT), que se apoyan en las prestaciones cada día mayores de las Redes, cuando antes esas mismas Redes, además de prestar las comunicaciones soporte, eran también plataformas para prestar los propios servicios.

Diseños como el que se ha llevado a cabo en este TFG, contribuyen a mostrar que, una buena combinación de contenidos y capacidades de la Red también pueden ser motor de nuevos negocios. En paralelo o en colaboración con plataformas de servicios que no estén integradas en la Red, aunque hagan uso de sus comunicaciones, pueden ayudar a mejorar la posición de los Operadores en un entorno regulatorio y de competencia que no les favorece.

### 6.2 Trabajo futuro

A partir de la conclusión del diseño de la solución descrito en este TFG, y una vez que ha sido probada su viabilidad en entornos controlados, el siguiente paso a dar es someter a aprobación su implantación en la Red y su lanzamiento comercial.

Para ello las unidades comerciales de la compañía deben complementar esta propuesta con un análisis de mercado y una mayor concreción en cuanto al servicio y precio, para poder cuantificar el potencial de generación de ingresos.

Un componente crítico para determinar el momento del lanzamiento y el potencial de ingresos es la disponibilidad en el tiempo de un volumen suficiente de terminales móviles

que soporten eMBMS. Por tanto, antes que nada, es preciso llevar a cabo el análisis exhaustivo que se proponía en el apartado 5.5.1.

Hasta ahora, todas las actividades que se han llevado a cabo relativas a este servicio y al diseño y pruebas de la solución de Red, han supuesto un esfuerzo inversor despreciable, y se han llevado a cabo con recursos humanos y técnicos de la propia Operadora y de los suministradores o con colaboración externa no crematística.

El despliegue en Red conllevará la asunción de compromisos inversores, que, de acuerdo con el marco restrictivo en que se ha desarrollado esta solución, no serán elevados respecto del volumen total de inversión en la Red, pero que han de cuantificarse y de los que habrá que evaluar la rentabilidad financiera esperada, a tenor de la potencial generación de ingresos comerciales.

Para determinar las inversiones necesarias, un primer paso será el establecimiento de negociaciones con los suministradores. Y, también, la cuantificación de los costes de desarrollo y mantenimiento de la aplicación citada en el apartado 5.5.2.

La presentación a probación del proyecto deberá aportar conjuntamente todos los resultados: técnicos (diseño de la solución), comerciales y financieros.

Aunque en este Trabajo Fin de Grado se ha hecho una aplicación particular de un determinado servicio, con tecnología LTE-eMBMS, para un entorno geográfico determinado, el estadio Wanda Metropolitano, el diseño de la solución se ha construido de forma general, de tal manera que se puede extender su implantación a otras zonas geográficas y a otras tipologías de servicios.

La idea final es que, aunque se ha trabajado con la premisa de que la inversión diferencial sea reducida, una vez realizada, se aplique a cualquier servicio que potencie la rentabilidad en base a la generación de ingresos adicionales.

Así podemos extender el mismo servicio, con contenidos adaptados a cada entorno, a otros estadios de fútbol, conciertos, circuitos de fórmula 1, carreras de motos, etc. En entornos como estos dos últimos, donde los eventos ya se retransmiten con una experiencia de usuario similar, hay beneficios incrementales aportados al Operador por la distribución de TV eMBMS. Mientras en la actualidad, el acceso al servicio desde los terminales móviles es *unicast*, implicando problemas de congestión si muchos usuarios hacen uso de él simultáneamente durante el evento, en la nueva propuesta el *broadcast* haría un *offload* de todo este *streaming*, evitando la saturación de la Red.

Pero el *broadcast* eMBMS no está limitado a la distribución de TV. Cualquier ingesta de contenidos que quiera hacerse llegar a muchos usuarios sin generar congestión en la Red es candidata para utilizar la solución diseñada.

A modo de ejemplo, no exhaustivo, se listan a continuación algunos potenciales servicios:

- Distribución de contenidos multimedia para ser disfrutados *off-line*. Pueden distribuirse contenidos de muy alta calidad porque su disfrute no impactará en la carga de la Red.
- Servicios de emergencia: distribución masiva de alertas con características multimedia.
- Distribución de *software*. Distribución rápida y masiva de parches de seguridad y paquetes de actualización.
- Información de uso masivo: transporte público, el tiempo, ...

- Contenidos e informaciones para campus universitarios.
- Comunicación multimedia de ofertas comerciales de aplicación en zonas geográficas determinadas (se accede a ellas cuando se entra en esa zona, que es cuando se accede a la cobertura eMBMS)





## Referencias

---

- [1] “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Network architecture”, 3GPP TS 23.002 - V14.1.0 - Release 14, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), mayo 2017
- [2] “Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS), Architecture and functional description”, 3GPP TS 23.246 - V14.2.0 - Release 14, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), octubre 2017
- [3] “LTE; General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access”, 3GPP TS 23.401 - V14.7.0 - Release 14, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), abril 2018
- [4] “Introduction of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN)”, 3GPP TS 25.346 – V14.0.0 – Release 14, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), abril 2017
- [5] “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception”, 3GPP TS 36.101 - V14.7.0 - Release 14, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), abril 2018.
- [6] “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), Overall description;”, 3GPP TS 36.300 - V14.6.0 - Release 14, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), abril 2018.
- [7] “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation”, 3GPP TS 36.211 – V14.6.0 – Release 14, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), abril 2018
- [8] M. Luby, A. Shokrollahi, M. Watson, T. Stockhammer, “Raptor Forward Error Correction Scheme for Object Delivery”, RFC 5053, IETF Standards, octubre 2007
- [9] “Proyecto técnico de despliegue de cobertura Multi-Operador en el estadio Wanda Metropolitano”, Club Atlético de Madrid, julio 2017.
- [10] “LTE Broadcast/Multicast (eMBMS) devices: Full List (GSA report)” en “GSA report: Evaluating the LTE Broadcast Opportunity”, Anexo A, Global mobile Suppliers Association, 2 de diciembre de 2015
- [11] R. Agustí, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez-Romero y O. Sallent, “LTE: nuevas tendencias en comunicaciones móviles”, Fundación Vodafone España, 2010
- [12] M. Moiz Anis, X. Lagrange, R. Pyndiah, “Overview of evolved Multimedia Broadcast Multicast Services (eMBMS)”, [Research Report] Dépt. Réseaux, Sécurité et Multimédia (Institut Mines-Télécom-Télécom Bretagne-UEB); Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires (UMR CNRS 6074 - Université de Rennes 1 - INRIA - INSA de Rennes - ENS de Cachan – Télécom Bretagne - Université de Bretagne Sud); Usman Institute of Technology - Hamdard University (.); Laboratoire en sciences et technologies de l’information, de la communication et de la connaissance (UMR CNRS 6285 - Télécom Bretagne - Université de Bretagne

Occidentale - Université de Bretagne Sud); Dépt. Signal et Communications (Institut Mines-Télécom-Télécom Bretagne-UEB); Direction scientifique (Institut Mines-Télécom -Télécom Bretagne). 2016, pp.48. <hal-01291201>

- [13] T. Lohmar, M. Slssingar, S. Puustinen, V. Kenchan, “Delivering content with LTE Broadcast”, Ericsson Review, 11 de febrero de 2013
- [14] “LTE eMBMS. Technology Overview”, Qualcomm Research, noviembre 2012
- [15] A. Barroso García, “3GPP: Estructura y proceso de estandarización”, Trabajo de Fin de Máster en Ingeniería de Telecomunicación, Universidad del País Vasco, septiembre 2016
- [16] S. Paul, R. Jain, “Long Term Evolution (LTE) & Ultra-Mobile Broadband (UMB) Technologies for Broadband Wireless Access “, Washington University in St. Louis, School of Engineering & Applied Science, abril 2008
- [17] S. Sesia, I. Toufik, M. Baker, “LTE – The UMTS, Long Term Evolution, From Theory to Practice”, 2nd. Edition, John Wiley & Sons, Ltd., 2011
- [18] S. Palat, P. Godin, “The LTE Network Architecture. A comprehensive tutorial”, Alcatel-Lucent, 2009
- [19] H. Holma, A. Toskala, “LTE for UMTS. OFDMA and SC-FDMA. Based Radio Access”, John Wiley & Sons, Ltd., 2009
- [20] S. Rathi, N. Malik, N. Chahal, S. Malik, “Throughput for TDD and FDD 4 G LTE Systems”, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), ISSN: 2278-3075, Volume-3, Issue-12, mayo 2014
- [21] “LTE Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services (eMBMS)”, Viavi Solutions Inc., 2015
- [22] H. G. Myung, “Technical Overview of 3GPP LTE”, 18 de mayo de 2008
- [23] M. Álvarez-Campana, “Curso LTE”, Cátedra Isdefe, ETSIT - UPM

## Glosario

---

3G	<i>Third Generation</i>
4G	<i>Fourth Generation</i>
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
ARIB	<i>Association of Radio Industries and Businesses</i>
ATIS	<i>Alliance for Telecommunications Industry Solutions</i>
AuC	<i>Authentication Center</i>
BBU	<i>BaseBand Unit</i>
BCCH	<i>Broadcast Control Channel</i>
BCH	<i>Broadcast Channel</i>
BLER	<i>Block Error Rate</i>
BM-SC	<i>Broadcast-Multicast Service Center</i>
CCCH	<i>Common Control Channel</i>
CCSA	<i>China Communications Standards Association</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CP	<i>Cyclic Prefix</i>
CT	<i>Core Networks and terminals</i>
DAS	<i>Distributed Antennas Systems</i>
DCCH	<i>Dedicated Control Channel</i>
DCH	<i>Dedicated Channel</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DL	<i>Downlink</i>
DL-SCH	<i>Downlink Shared Channel</i>
DTCH	<i>Dedicated Traffic Channel</i>
eMBMS	<i>Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service</i>
eMBMS-GW	<i>eMBMS Gateway</i>
eNB	<i>Evolved NodeB</i>
eNodeB	<i>Evolved Node B</i>
EPC	<i>Evolved Packet Core</i>
EPS	<i>Evolved Packet System</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
E-UTRA	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access</i>
E-UTRAN	<i>Evolved UTRAN</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
GERAN	<i>GSM EDGE Radio Access Network</i>
GSA	<i>Global mobile Suppliers Association</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communication</i>
GW	<i>Gateway</i>
HEVC	<i>High Efficiency Video Coding</i>
HO	<i>Handover</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSS	<i>Home Subscription Server</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
IMT	<i>International Mobile Telecommunications</i>
IoT	<i>Interoperabilidad</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>

ISI	<i>Inter-Symbol Interference</i>
ITU	
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MBMS	<i>Multimedia Broadcast Multicast Service</i>
MBMS-GW	<i>MBMS gateway</i>
MBSFN	<i>Multimedia Broadcast multicast service Single Frequency Network</i>
MCCH	<i>Multicast Control Channel</i>
MCE	<i>Multicell/Multicast Coordinating Entity</i>
MCH	<i>Multicast Channel</i>
MCS	<i>Modulation and Coding Scheme</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MM	<i>Mobility Management</i>
MME	<i>Mobility Management Entity</i>
MTCH	<i>Multicast Traffic Channel</i>
NAS	<i>Non-Access Stratum</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
PBCH	<i>Physical Broadcast Channel</i>
PCCH	<i>Paging Control Channel</i>
PCEF	<i>Policy and Charging Enforcement Function</i>
PCH	<i>Paging Channel</i>
PCRF	<i>Policy and Charging Rule Function</i>
PDCCH	<i>Physical Downlink Control Channel</i>
PDN	<i>Packet Data Network</i>
PDSCH	<i>Physical Downlink Shared Channel</i>
P-GW	<i>PDN Gateway</i>
PiP	<i>Picture in Picture</i>
PMCH	<i>Physical Multicast Channel</i>
PoI	<i>Point of Interconnection</i>
PS	<i>Packet Switched</i>
PUCCH	<i>Physical Uplink Control Channel</i>
PUSCH	<i>Physical Uplink Shared Channel</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RACH	<i>Random Access Channel</i>
RAN	<i>Radio Access Network</i>
RB	<i>Resource Block</i>
RB	<i>Radio Bearer</i>
RE	<i>Resource Element</i>
RF	<i>RadioFrecuencia</i>
RRM	<i>Radio Resource Mangement</i>
RRU	<i>Remote Radio Unit</i>
RSRP	<i>Reference Signal Receiver Power</i>
SA	<i>Service &amp; system Aspects</i>
SAE	<i>System Architecture Evolution</i>
SC-FDMA	<i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access</i>
SCH	<i>Shared Channel</i>
SD	<i>Standard Definition</i>
SER	<i>Source block Error Rate</i>
SFN	<i>Single Frequency Network</i>

S-GW	<i>Serving Gateway</i>
SINR	<i>Signal to Interference and Noise Ratio</i>
SISO	<i>Single Input, Single Output</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
SON	<i>Self Optimizing Network</i>
SRB	<i>Signaling Radio Bearer</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TR	<i>Technical Report</i>
TS	<i>Technical Specification</i>
TSG	<i>Technical Specification Group</i>
TSDSI	<i>Telecommunications Standards Development Society</i>
TTA	<i>Telecommunication Technology Association</i>
TTC	<i>Telecommunication Technology Committee</i>
TV	<i>Televisión</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UL	<i>Uplink</i>
UL-SCH	<i>Uplink Shared Channel</i>
UM	<i>Unidad Maestra</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UR	<i>Unidad Remota</i>
UTRAN	<i>Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
WG	<i>Work Group</i>



## Anexos

### A Dispositivos compatibles eMBMS

Fuente: *Global mobile Suppliers Association (GSA) [10]*.

Manufacturer	Model	Form factor	eMBMS/ LTE Broadcast compatible chipset	Compatible / demonstrated middleware	Shipping eMBMS as supported/ enabled?	LTE Broadcast applications (demonstrated or commercial)
Alcatel	OneTouch Pixi 3(5)	Phone	Qualcomm X5	Qualcomm		
Airwire Technologies	LTE-Advanced WiFi Mobile Hotspot	LTE hotspot	Sequans Mont Blanc LTE and Cassiopeia chipsets		Yes	Video streaming
Amtel		LTE hotspot		Expway		
ASUS	MeMo Pad 7 LTE	Tablet	Intel XMM 7260			
ASUS	Zenfone	Phone	Intel XMM 7262			
ASUS	Zenfone 2	Phone	Intel XMM 7260 & Intel XMM 7262 in China			
ASUS	Zenfone Selfie	Phone	Qualcomm Snapdragon 615	Qualcomm		
Blackberry	Blackberry Priv	Phone	Qualcomm Snapdragon 808	Qualcomm		
Blu	Vivo Air	Phone	Qualcomm Snapdragon 410	Qualcomm		
DareGlobal & Datang Mobile	China Telecom TD-LTE CPE	LTE CPE	Sequans Mont Blanc LTE chipset			
D-Link	eMBMS HDMI dongle (DWM-301)	Dongle	Altair FourGee-3800/6300	Expway and Roundbox	Yes	Designed for interactive ordering and digital signage solutions
D-Link	eMBMS TV Dongle	Dongle	Sequans VZ20Q eMBMS chipset		Yes	HD video over LTE Broadcast to consumers TV screens
E FUN	Nextbook Areas 8L	Tablet	Sequans VZ20M EZLinkLTE module			
E FUN	Nextbook Areas 10L	Tablet	Sequans VZ20M EZLinkLTE module			
Franklin Wireless		LTE hotspot		Expway		

Huawei	Ascend G6	Phone				Used in trial
Huawei	C8817	Phone				Used in trial
Huawei	Bee 4G	Phone	Qualcomm X5	Qualcomm		
Huawei		LTE router				Used in trial
Huawei	Honor 4A	Phone	Qualcomm X5	Qualcomm		
Huawei	Google Nexus 6 P	Phone	Qualcomm Snapdragon 810	Qualcomm		
Huawei	G620	Phone				
Huawei	Maimang 4	Phone	Qualcomm Snapdragon 616	Qualcomm		
Huawei	MediaPad	Tablet	Qualcomm Snapdragon 615	Qualcomm		
Huawei	P2	Phone				Used in trial
HTC	Desire Eye	Phone	Qualcomm Snapdragon 801	Qualcomm		
HTC	HTC One M9	Phone	Qualcomm Snapdragon 810	Qualcomm	Yes – eMBMS software upgrade available for Verizon customers from HTC site	
HTC	HTC One A9	Phone	Qualcomm Snapdragon 617	Qualcomm		
Insignia	Insignia 4G Android	Tablet	Sequans VZ20M EZLinkLTE module	Expway		
Lenovo	VIBE Shot	Phone	Qualcomm Snapdragon 615	Qualcomm		
Lenovo	Yoga Tab 3 8	Tablet	Qualcomm Snapdragon 212	Qualcomm		
Lenovo	Yoga Tab 3 10	Tablet	Qualcomm Snapdragon 212	Qualcomm		
LG	G2	Phone		Expway		
LG	G3	Phone	Qualcomm Snapdragon 801	Expway, Qualcomm		Used in trial
LG	G4	Phone	Qualcomm Snapdragon 808	Expway, Qualcomm		
LG	G Flex 2	Phone	Qualcomm Snapdragon 810	Qualcomm		
LG	G-Vista	Phone	Qualcomm Snapdragon 808	Expway, Qualcomm		



Oppo	R5	Phone	Qualcomm Snapdragon 615	Qualcomm		
Quanta	Ellipsis 8	Tablet		Expway		
Quanta	13, 4, 2 M.2	Tri-band single mode LTE module	Altair FourGee 3800/6300			
Sagemcom		Home gateway		Expway		
Samsung	A5	Phone		Expway		
Samsung	A7	Phone		Expway		
Samsung	Core Prime	Phone		Expway		
Samsung	Galaxy J1 LTE	Phone	Marvell PXA1908			
Samsung	Galaxy Note 3	Phone		Qualcomm and Expway	Yes Used for KT service (requires software upgrade)	Used in trials
Samsung	Galaxy Note 4	Phone	Intel XM7260 chipset	Expway		
Samsung	Galaxy Note 4E	Phone		Expway		
Samsung	Galaxy Note 5	Phone		Expway		
Samsung	Note Edge	Phone		Expway		
Samsung	Galaxy S4 Mini	Phone		Expway		
Samsung	Galaxy S5	Phone		Expway		Used in trials
Samsung	Galaxy S6	Phone		Expway		Used in trials
Samsung	Galaxy S6 Edge	Phone		Expway		
Samsung	Galaxy S6 Edge Plus	Phone		Expway		
Samsung	Galaxy Tab 5	Tablet	Intel XM 7260 chipset			
Samsung	Galaxy Alpha (international version)	Phone	Intel XM 7260 chipset			
Sony	Experia Z1	Phone				
Sony	Experia Z2	Phone				
Sony	Experia Z3	Phone		Expway		
Sony	Experia Z4	Tablet	Qualcomm Snapdragon 810	Expway, Qualcomm		
Sony	Experia Z5	Phone	Qualcomm Snapdragon 810	Expway, Qualcomm		
Taiwanese ODM (unnamed)	Linkem wireless broadband CPE	LTE CPE	Sequans Cassiopeia chipset			
Taiwanese ODM (unnamed)	Bharti Airtel single mode LTE CPE	LTE CPE	Sequans Mont Blanc chipset			
TCL	TCL P688L	Phone				
Technicolor	Hybrid OTT home gateway / set-top box	Home gateway/ set-top box		Expway		

LG	Google Nexus 5X	Phone	Qualcomm Snapdragon 808	Qualcomm		
LG	V10	Phone	Qualcomm Snapdragon 808			
Microsoft	Surface 3	Tablet	Intel XMM 7260			
Microsoft	Lumia 635	Phone	Qualcomm Snapdragon 400	Qualcomm		
Microsoft	Lumia 640	Phone	Qualcomm Snapdragon 400	Qualcomm		
Microsoft	Lumia 640 XL	Phone	Qualcomm Snapdragon 400	Qualcomm		
Microsoft	Lumia 950	Phone	Qualcomm Snapdragon 808	Qualcomm		
Microsoft	Lumia 950 XL	Phone	Qualcomm Snapdragon 808	Qualcomm		
Micro-Star International (MSI)	S100 Note LTE	2-in-1 tablet	Sequans VZ20M EZLinkLTE module			
Modacom	URoad-Stick	Datacard	GCT GDM7243M			
Modacom	URoad-Home 2+	Router	GCT GDM7243M			
Motorola	Verizon Droid Turbo	Phone	Qualcomm Snapdragon 805	Qualcomm		
Motorola	Droid Turbo 2	Phone	Qualcomm Snapdragon 810	Qualcomm	Yes on Verizon	
Motorola	Moto E	Phone	Qualcomm Snapdragon 410	Qualcomm		
Motorola	Moto G	Phone	Qualcomm Snapdragon 410	Qualcomm		
Motorola	Moto X Pure Edition/ Moto X Style	Phone	Qualcomm Snapdragon 808	Qualcomm		
NEC	4G LTE mobile router	Router	GCT GDM7243Q			
NetComm Wireless	NWL-25	Light Industrial M2M Router	Sequans VZ20Q EZLinkLTE module			
Novatel Wireless	MiFi M100 Dragon	Personal LTE hotspot	Altair FourGee 3800/6300			
OnePlus	OnePlus 2	Phone	Qualcomm Snapdragon 810	Qualcomm		
OnePlus	OnePlusX	Phone	Qualcomm Snapdragon 801	Qualcomm		

Telenet Systems	TLE 5010-PE	LTE Outdoor CPE	Sequans Mont Blanc LTE chipset			
Unnamed	Verizon Ellipsis Jetpack MHS800L	LTE mobile hotspot	Sequans Mont Blanc LTE chipset			
Wistron	Smart Unit/SPK-QC	Module	Qualcomm Snapdragon 210	Qualcomm		
Xiaomi	China Unicom HongLajiao smartphones	Phone	Marvell ARMADA PXA1908			
Xiaomi	MiNote Pro	Phone	Qualcomm Snapdragon 810	Qualcomm		
Yota Devices	YotaPhone 2	Phone	Qualcomm Snapdragon 801	Qualcomm		
ZTE	A460	Phone	Qualcomm X5	Qualcomm		
ZTE	Axon	Phone	Qualcomm Snapdragon 810	Qualcomm		
ZTE	SPro2	Smart projector	Qualcomm Snapdragon 800	Qualcomm		



## ***B Parámetros de la interfaz radio (codificación H.265)***

A continuación, se resumen los datos de entrada y los calculados en el apartado 355.4 para el dimensionado de la interfaz radio. En las tablas se resaltan aquellos que son resultado final de los 5 pasos en que se ha dividido el proceso de dimensionado.

Datos de entrada		Valores calculados	
BW <sub>Channel</sub>	20 MHz	SNR	> 13 dB
N <sub>RB</sub>	100	MCS	14
RSRP	> -90 dBm	R <sub>MAX</sub>	23,28 Kbps
en el	95%	S <sub>TB</sub>	3.253 bytes
p <sub>BLER</sub>	2%	p <sub>PER</sub>	2,86%
f	1,118	p <sub>SER</sub>	0,11%
t <sub>TTI</sub>	10 ms	R <sub>s</sub>	3.880 Kbps
S <sub>IP</sub>	1.400 bytes	S <sub>m</sub>	485 Kbytes
t <sub>s</sub>	1 s	S <sub>FLUTE</sub>	1.376 bytes
t <sub>e</sub>	15 min	S <sub>s</sub>	485 bytes
Nº canales SD	4	n <sub>s</sub>	12
Nº canales PiP	4	k	1000
Tasa video SD	780 Kbps	S	1,10
Tasa audio SD	40 Kbps	l	2,18
Tasa video PiP	150 Kbps	K	18,00
Tasa audio PiP	0 Kbps	n	1145
O <sub>FLUTE-abs</sub>	16 bytes	n <sub>rep</sub>	145
O <sub>UDP-abs</sub>	8 bytes	O <sub>FEC</sub>	14,50%
O <sub>IP-abs</sub>	20 bytes	O <sub>FLUTE</sub>	1,16%
		O <sub>UDP</sub>	0,57%
		O <sub>IP</sub>	1,43%
		O <sub>RLC</sub>	2%
		O <sub>TOT</sub>	20,52%
		bitrate total	4.676 Kbps
		bitrate por RB	46,76 Kbps
		nº de subtramas	2,01



### **C Parámetros de la interfaz radio (codificación H.264)**

A continuación, se resumen los datos de entrada y los que resultarían de los cálculos seguidos en el apartado 355.4 para el dimensionado de la interfaz radio, aplicados a una codificación H.264 para los canales de TV, menos eficiente que la H.265. En las tablas se resaltan aquellos que serían resultado final de los 5 pasos en que se ha dividido el proceso de dimensionado.

Datos de entrada		Valores calculados	
BW <sub>Channel</sub>	20 MHz	SNR	> 13 dB
N <sub>RB</sub>	100	MCS	14
RSRP	> -90 dBm	R <sub>MAX</sub>	23,28 Kbps
en el	95%	S <sub>TB</sub>	3.253 bytes
p <sub>BLER</sub>	2%	p <sub>PER</sub>	2,86%
f	1,118	p <sub>SER</sub>	0,11%
t <sub>TTI</sub>	10 ms	R <sub>s</sub>	5.560 Kbps
S <sub>IP</sub>	1.400 bytes	S <sub>m</sub>	695 Kbytes
t <sub>s</sub>	1 s	S <sub>FLUTE</sub>	1.376 bytes
t <sub>e</sub>	15 min	S <sub>s</sub>	695 bytes
Nº canales SD	4	n <sub>s</sub>	12
Nº canales PiP	4	k	1000
Tasa video SD	1.200 Kbps	S	1,10
Tasa audio SD	40 Kbps	l	2,18
Tasa video PiP	150 Kbps	K	18,00
Tasa audio PiP	0 Kbps	n	1145
O <sub>FLUTE-abs</sub>	16 bytes	n <sub>rep</sub>	145
O <sub>UDP-abs</sub>	8 bytes	O <sub>FEC</sub>	14,50%
O <sub>IP-abs</sub>	20 bytes	O <sub>FLUTE</sub>	1,16%
		O <sub>UDP</sub>	0,57%
		O <sub>IP</sub>	1,43%
		O <sub>RLC</sub>	2%
		O <sub>TOT</sub>	20,52%
		bitrate total	6.701 Kbps
		bitrate por RB	67,01 Kbps
		nº de subtramas	2,88